647

A TEXT BOOK OF PRACTICAL PHYSICS

(FOR INTERMEDIATE CLASS)

செய்முறை பௌதிக நூ

BY

S. SRIRAMAN, M.A., M.Sc.,
LECTURER IN PHYSICS, ANNAMALAI UNIVERSITY

WITH COURAGE AND FAITH

PUBLISHED BY
ANNAMALAI UNIVERSITY
ANNAMALAINAGAR
1952

C
N52
110011

A TEXT BOOK

OF

PRACTICAL PHYSICS

(FOR INTERMEDIATE CLASS)

BY

S. SRIRAMAN, M. A., M. Sc.,
LECTURER IN PHYSICS, ANNAMALAI UNIVERSITY

செய்முறை பௌதிக நூல்

அண்ணாமலைப் பல்கலைக்கழக பௌதிக ஆசிரியன்
எஸ். ஸ்ரீராமன்
இயற்றியது

PUBLISHED BY
ANNAMALAI UNIVERSITY
அன்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகத்தாரால்
வெளியிடப்பட்டது
1952

C
N52

110011

Printed at
The Trichinopoly United Printers Ltd.,
Tiruchirapalli—500

முன்னுரை

அண்ணாமலை யூனிவர்ஸிடி அதிகாரிகளின் ஆதரவு பெற்று '**செய்முறை பௌதீகம்**' என்ற இந்நூல் வெளி வந்துள்ளது, யாவர்க்கும் எளிதில் புலப்படும் வண்ணம் திருந்திய நன்முறையில் இந்நூல் அமைந்துள்ளது; யூனிவர்ஸிடியில் இண்டர்மீடியட் வகுப்பில் பௌதிகம் கற்கும் மாணாக்கருக்கு மிகவும் பயன்படத்தக்கது என்பதில் ஐயமில்லை. இதை ஆக்கினோர், பௌதிக ஆசிரியராய் நீண்ட அனுபவமுடைய **ஸ்ரீ ராமன்** அவர்கள். அவர் விதியியல் பௌதிக விரிவுரை யாற்றலிலும் செய்முறை பௌதிக வகுப்பு நடத்துவதிலும் திறமை வாய்ந்தவர். தமிழ் ஆர்வமும் துணை புரிய இந்நூலை இயற்றியுள்ளார். அவரது சீரிய நன் முயற்சி மிகவும் பாராட்டற்கு உகந்ததாம். வெளியிட்டு உதவிய யூனிவர்ஸிடி ஆட்சியாளர்க்கு நன்றி உரித்தாம்.

நவநீதகிருஷ்ணன்

முகவுரை

செய்முறை வகுப்புகளில் மாணவர்களுக்கு ஏற்படும் சாதாரண சிரமங்களை மனத்திற்கொண்டு அதற்குத் தக்க வண்ண மாகவே இப்புத்தகத்தை எழுதியுள்ளேன். ஒவ்வொரு தலைப் பிற்கும் சுருக்கமான முன்னுரையும் சிறிது விளக்கவுரையும் தரப்பட்டுள்ளன. விரிவுரை வகுப்புகளில் நேரே காணாத ஒரு சில செய்முறைப் பாடங்களைக்கூட நன்கு உணர்ந்து அவற்றைச் செவ்வனே செய்தற்கு ஏற்றவாறு இக்குறிப்புரைகள் பெரி தும் உதவிபுரியும் என்று நம்புகின்றேன்.

இதனுள் காணும் விஞ்ஞானத் தமிழ்ச் சொற்கள் பெரும் பாலும் "கலைச் சொற்கள்", அரசாங்க வெளியீடுகள் இவை களிலிருந்தே கையாளப்பட்டுள்ளன. எனினும் ஓம் (Ohm) வோல்ட் (Volt) ஆம்பியர் (Ampeare) முதலிய சொற்களை அங்ஙனமே ஆங்கில ஓசையில் தமிழில் எழுதியிருக்கின்றேன்.

எனக்குத் தமிழில் பெரும் புலமையில்லை என்பதை யான் அறிவேன். பேச்சு வழக்கிலுள்ள எளிய தமிழில் இதனை முதன் முதலாக எழுதமுற்பட்டமையின், இடையே குறைபாடு கள் மலிந்திருக்கக்கூடும். இந்நூலின் ஆக்கங்கருதி நல்ல குறிப் பெடுத்துக் கூறுவோர்க்கு யான் என்றும் நன்றியுடையேன்.

தமிழில் ஸ்ரீமான் R. K. விஸ்வநாதன் அவர்கள் எழுதி யுள்ள பௌதிக நூலையும், பேராசிரியர் T. P. நவநீதகிருஷ்ண அவர்கள் எழுதியுள்ள 'Instructions to Experiments in Physics' என்ற புத்தகத்தையும் தழுவியே யான் இதனை எழுத லானேன். அதிலும் பேராசிரியர் T. P. நவநீதகிருஷ்ண அவர் களின் புத்தகத்திலுள்ள படங்களே அவரது அன்புறு அனுமதி யின் பேரில் இதில் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. இவ் ஆசிரியர் இருவர்க்கும் யான் மிகவும் கடப்பாடுடையேன்.

இப்புத்தகத்தை எழுதித்தரும் வண்ணம் என்னைத் தேர்ந்த அண்ணாமலைப் பல்கலைக் கழகத்தார்க்கு எனது நன்றி மிகவும் உரித்தாகும்.

இதனைக் குறித்த காலத்தில் அழகுற நன்கு அச்சியற்றி முடித்துத் தந்த 'திருச்சி யுனைடெட் பிரிண்டர்ஸ்' அவர்கட்கும் எனது நன்றி உரியதாகும்.

அண்ணாமலை நகர்,
1—8—52.

S. ஸ்ரீராமன்

பொருளடக்கம்

		பக்கம்
1.	மூலை வரை அளவி	1
2.	வர்னியர்	4
3.	வர்னியர் இடுக்கிக் கோல்	8
4.	திருகுமானி	12
5.	உருட்சியளவி	16
6.	தராசு	21
7.	சாமானிய ஊசலி	28
8.	ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் தாக்குகள், தாக்கு இணைகர விதி, தாக்கு முக்கோணம், லாமியின் தோற்றம்	35
9.	இணைத்தாக்குகள் : இரண்டு இணைகர தாக்குகளின் தொகு பயன் ; இணைகரத்தாக்கு விதிகள்	42
10.	சாய்வு மட்டம்	51
11.	சகடைகள்	56

நீர் நிலையியல்

12.	செறிவுக் கலம். ஒப்புச் செறிவைக் காணும் முறைகள் ...	63
13.	ஆர்க்கிமிடிஸின் தத்துவம். ஒப்புச் செறிவுகளைக் காணும் முறைகள் ...	68
14.	மிதவை விதிகள். சோதனைக் குழாய் மிதவை திரவமானி ...	73
15.	நிக்கல்ஸன் திரவமானி. கண்ணாடித்துண்டு, திரவம் இவைகளின் ஒப்புச் செறிவுகளைக் காணும் முறைகள் ...	77
16.	U-வடிவக் குழாயினால் ஒப்புச் செறிவைக் காணும் முறைகள்	80
17.	ஹேரின் கருவி. ஒப்புச் செறிவைக் காணும் முறைகள் ...	84

பக்கம்

18. பார்டின் பாரமானி 87
19. பாயிலின் விதி நிரூபணம் :
முதல் வழி 89
இரண்டாம் வழி 91

வெப்ப வியல்

20. உலோகச் சட்டத்தின் நீட்சிப் பான்மையைக் காணும் முறை 95
21. தேங்காய் எண்ணெயின் தோற்றப் பெருக்கக் குணகத்தைக் காணும் முறை 97
22. காற்றின் மாறா இருக்கப் பருமைப் பெருக்கக் குணகத்தைக் காணும் முறை 100
23. காற்றின் மாறாப் பருமை இறுக்கக் குணகத்தைக் காணும் முறை 102
24. கலோரி அளவை.
கலோரி மீட்டரின் சம நீர் எடையைக் காணும் முறை 107
25. இரும்பின் வெப்ப எண்ணைக் காணும் முறை ... 109
26. தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக் காணும் முறை 111
27. நிலை மாற்றம்.
பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணும் முறை 114
28. தண்ணீரின் கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணும் முறை 115
29. நாப்தலினின் உருகு நிலையைக் காணும் முறை ... 118
30. சாராயத்தின் கொதி நிலையைக் காணும் முறை ... 120
31. ஈரப்பத இயல்.
ரிஞேவின் ஈரமானி 123
மேஸனின் ஈரமானி 124
32. நியூட்டனின் குளிர்தல் விதியும் அவ்விதியை உபயோகித்து தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக் காணும் முறையும் 127
33. வெப்பத்தின் இயக்க வேலைச் சமத்துவத்தைக் காணும் முறை 132

பக்கம்

ஒளி யியல்

34. ஒளி அளவை.
ரம்போர்டின் ஒளிமானி 135
35. புன்சனின் ஒளிமானி 136
36. சமதளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்.
பிரதிபலிப்பு விதிகளை நிரூபிக்கும் முறை ... 138
37. சமதளப் பரப்பில் ஒளி முறிவு விதிகள் ... 145
38. ஒளி முறிவால் உண்டாகும் பிம்பங்கள் ... 147
39. கண்ணாடி முப்பட்டையின் உதவியால் கண்ணாடியின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடும் முறைகள் ... 151
40. கோளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்.
கோளக் குழிவு ஆடியின் குவியத் தூரத்தைக் காணும் முறை 157
41. கோளக் குவி ஆடியின் குவியத் தூரத்தைக் காணும் முறை 163
42. வில்லைகளின் குவியத் தூரம்:
ஒரு குவி வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணும் முறை 165
43. ஒரு குழி வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணும் முறை 169
44. சாமானியப் பெருக்காடி 170
45. வானவியல் தொலைநோக்கி 172
46. ஒளி நிறமானி.
முப்பட்டையின் விலகல் எண்ணைக் காணும் முறை ... 174

ஒலி யியல்

47. இசைமானி (Sonometer) 181
48. அநுநாதம் (Resonance) 187

காந்த வியல்

49. காந்தமண்டலம் வரையும் முறைகள் ... 191
50. விலகு காந்தமானி.
தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபிக்கும் முறை ... 196
51. திருப்பித்திறன்களை ஒப்பிடல் 199

பக்கம்

52. சம ஒதுக்க அல்லது சூனிய நிலை முறை ... 207
53. காவின் வழியில் தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபிக்கும் முறை 208
54. துடிப்புக் காந்தமானி 210

மின்சார வியல்

55. பரிச மின்னோட்டமானி.
கம்பிச் சுருளின் பெருக்கச் சூனியத்தைக் காணும் முறை 222
56. ஓமின் விதியை நிரூபிக்கும் முறை ... 225
57. வீட்ஸ்டன் இணைப்பினால் மின் தடையைக் காணும் முறை 231
58. தபாலாபீஸ் பெட்டி 236
59. மின் கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளை ஒப்பிடும் முறை 239
60. நிலைப்புமானி 243
61. செப்பின் மின் ரசாயன சம பலத்தைக் காணும் முறை 247
62. மின் சோதனையால் J-யின் மதிப்பைக் காணும் முறை 250

1. மூலை வரை அளவி (Diagonal Scale)

ஒரு சிறிய நேர்கோட்டின் நீளத்தை அளக்க, நேர்மையான ஓரங்களைக்கொண்ட ஓர் சாதாரண அளவிச் சட்டத்தை உபயோகிக்கிறோம். அளவிச் சட்டங்களில் பொதுவாக ஓர் ஓரத்தில் அங்குலங்களும் பதின் அங்குலங்களும், எதிர் ஓரத்தில் செண்டிமீட்டர்களும், மில்லிமீட்டர்களும் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சட்டத்தால் ஒரு நேர்கோட்டின் நீளத்தைப் பதின் அங்குலம் அல்லது மில்லிமீட்டர் வரைதான் திட்டமாகக் கண்டுபிடிக்கலாம். நீட்டல் அளவை இதைவிடச் சிறந்த திட்டத்திற்கு (**more accurate**)க் காண வேறு உபாயங்களால்தான் முடியும். இவ்விதச் சாதனங்களில் ஒன்று மூலை வரை அளவி.

சோதனை 1:—

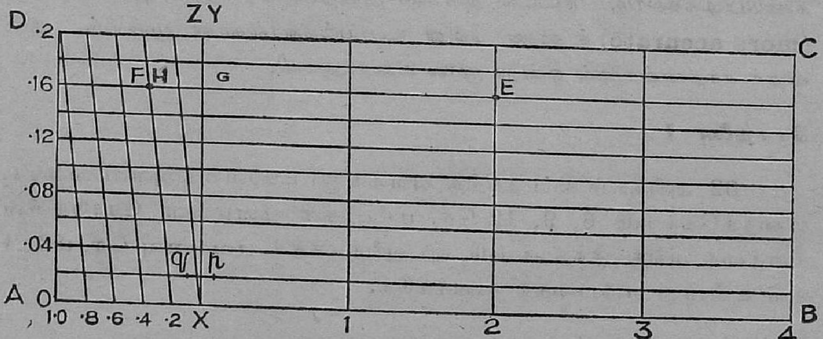
·02 அங்குலம் திட்டத்திற்கு அளக்க ஓர் மூலைவரை அளவி வரைக. இதைக்கொண்டு 6, 9, 12 செ. மீட்டர்கள் நீளமுள்ள கோடுகளின் நீளத்தை அங்குலத்தில் கண்டு, ஓர் அங்குலத்தில் எவ்வளவு செ. மீட்டர்கள் உள்ளன என்பதைக் கணக்கிடுக.

செய்முறை :—

படத்தில் காட்டியவாறு (படம் 1) **ABCD** என்ற ஒரு நீள் சதுரம் வரைக. அதில் **AB** 6 அங்குலம் நீளம். அதை அங்குலங்களாகப் பகுத்து ஒவ்வொரு பகுப்பிடமிருந்தும் நேர் குத்துக்கோடுகள் வரைக. **AD**-ஐப் பத்து சம பாகங்களாகப் பிரிக்கவும். இதன் நீளம் பத்து செண்டிமீடர் அல்லது ஐந்து அங்குலமாக இருப்பின் இவ்வாறு பிரித்தல் எளிதாகும். இதன் ஒவ்வொரு பகுப்புப் புள்ளியிலிருந்தும் **AB**-க்கு இணைகோடுகள் வரைக. **AXYD** என்ற கட்டத்தில் **AX, YD** என்ற கோடுகள் ஒவ்வொன்றையும் 5 சமபாகங்களாகப் பகுத்து அப்பகுப்பிடங்களைக் குறிக்கவும். **X** என்ற புள்ளியையும், **Y**-ஐ அடுத்த முதற்புள்ளியையும் நேர்கோட்டால் சேர்க்கவும். **X**-க்கு அடுத்த புள்ளியையும், **Y**-யிலிருந்து இரண்டாவது புள்ளியையும் நேர்கோட்டால் சேர்க்கவும். இவ்விரண்டு நேர்கோடுகளும் இணைகோடுகள். இவ்வாறே **AX, DY** இவ்விரண்டிலுமுள்ள மற்ற புள்ளிகளைச் சேர்க்கவும்.

அள்வுவரையிடல் :—(Graduation)

XB என்னும் கோட்டில் உள்ள பகுப்பிடங்களை 0, 1, 2, 3, 4, 5 என்று குறிக்க. XA-யிலுள்ள ஒவ்வொரு சிறிய பாகத்தின் நீளம் ·2″. இந்தக் கோட்டிலுள்ள பகுப்பிடங்களை 0, ·2, ·4, ·6, ·8, 1·0 என்று குறிக்கவும். படத்தைப் பார்க்கவும். இதில் மிகச் சிறிய அளவுள்ள கோடு p_1q_1 என்பது. Xp_1q_1, XYZ இவை இரண்டும் வடிவொத்த முக்கோணங்கள். ஆதலின், $p_1q_1/YZ=\frac{1}{10}$, $YZ=\cdot2''$. ஆதலால் $p_1q_1=\cdot02''$ ஆகும். இவ்வாறே p_2q_2, p_3q_3 முதலிய பாகங்களின் நீள அளவுகள் முறையே ·04″, ·06″ ஆகும். இவ்வளவுகளை AD-யின் அருகில் படத்தில் கண்டவாறு குறிக்கவும். இப்படமே, மூலைவரை அளவி எனப்படும். இதன்கீழ் அளவுத்திறன் (**Least count**) p_1q_1 என்பதன் நீளம்; அதாவது ·02″.



படம் 1

உபயோகிக்கும் முறை :—

6 செ. மீடர் நீளமுள்ள ஓர் நேர்கோட்டை வரைக. ஒரு கவராசத்தின் அல்லது வகு கருவியின் (**Pair of dividers**) கால்களை விரித்து அவைகளின் இடைதூரத்தை இக்கோட்டின் நீளமாகக் கொள்க. அதன் ஒரு கால் XA என்னும் பாகத்தில் விழும்படி மற்றொரு காலை XB-யில் உள்ள ஓர் பகுப்புப் புள்ளியில் வைக்கவும். இப்பொழுது XA-யில் உள்ள ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் அதன் கால் சரியானபடி பொருந்தாவிட்டால் AB-க்கு அடுத்த மேல் இணைகோட்டில் வைத்துப்பார்க்கவும். அதிலும், புள்ளிகளின்மேல், கால் சரியானபடி பொருந்தாவிட்டால், அதன் மேலுள்ள இணைகோடுகளில் வைத்துப்பார்க்கவும். படத்தில் காட்டியவாறு E, F என்ற புள்ளிகளில் பொருந்தினுல் அதன் இடையில் உள்ள தூரத்தைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$$EF=EG+HF+GH=2''+\cdot2''+\cdot16''=2\cdot36''.$$

இவ்வாறே 9, 12 செ. மீட்டர் நீளமுள்ள கோடுகளின் நீளத்தை அங்குலத்தில் அளந்து கிடைத்த நீளங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு நிரவிடுக :- (Tabulate)

எண்ணிக்கை	கோடுகளின் நீளம்		அங்குலத்தில் உள்ள செ. மீட்டர்கள் x/y
	செ. மீட்டர் x	அங்குலம் y	

நாலாவது கட்டத்தில் உள்ள வாசகங்கள் சற்றேறக்குறைய ஒரே மதிப்புடையனவாக இருக்கும். இவற்றின் இடை மதிப்புத்தான் **(Mean value)** ஓர் அங்குலத்தின் செ. மீட்டர் அளவு.

குறிப்பு :—

எந்தக் கீழ் அளவுத்திறனுடன் கூடிய மூலைவரை அளவியையும் சுலபமாகச் செய்யலாம். இதற்கு விதி ஒன்று உண்டு. அதாவது அளவுத்திறன் $\frac{1}{100}''$ என்றால், படத்தில் **AX** என்னும் அங்குலத்தை m சமபாகங்களாகவும், **AD** என்னும் கோட்டை n சமபாகங்களாகவும் பிரிக்கவேண்டும். ஆனால் mn என்னும் பெருக்குத்தொகை 100 ஆக வேண்டும். இவ்விதியை உபயோகித்து ·02 அங்குலம் அளவுத்திறனுக்கு **AX**-ஐ இரண்டு சமபாகங்களாகவும், **AD**-ஐ இருபத்தைந்து சமபாகங்களாகவும் பிரிக்கலாம்.

2. வர்னியர் அல்லது இணையளவைக் கோல் (Vernier)

சாமானிய அளவிச்சட்டங்களால் கிடைக்கும் அளவைவிட அதிகத் திருத்தமான அளவுகளைக் கொடுக்கக்கூடிய சாதனங்களில் வர்னியரும் ஒன்று.

இதில் இரண்டு அளவிச்சட்டங்கள் உள்ளன. ஒன்று பிரதம அளவிச்சட்டம்; மற்றொன்று சிறியதாய் உள்ள துணை அளவிச் சட்டம். இந்தத் துணையளவியைப் பிரதம அளவிச்சட்டத்தின் ஓரத்தோடு நகரும்படி பொருத்தி உபயோகிக்கவேண்டும். வர்னியரில் இரண்டு வகை உண்டு. ஒன்று நேர் வர்னியர். இதன் துணையளவிப் பிரிவுகளின் இடைத்தூரம் பிரதம அளவிப் பிரிவுகளின் இடைத்தூரத்தைவிடச் சற்று சிறிதாயிருக்கும். பொதுவாக $(n-1)$ பிரதம அளவிப் பிரிவுகளின் நீளத்தைத் துணையளவியின் நீளமாகக்கொண்டு அது n சமபாகமாகப் பிரிக்கப்பட்டு இருக்கும். இவ்விரண்டு அளவிகளின் பிரிவுகளும் இடமிருந்து வலம் வாசிக்கும்படி வரையிடப்பட்டிருக்கும்.

உதாரணமாக 9 மி-மீட்டர் நீளம் கொண்ட துணையளவியின் ஓரம், 10 பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு இடமிருந்து வலம் வரையிடப்பட்டிருப்பதாக வைத்துக்கொள்ளுவோம். இத்துணையளவியின் ஒவ்வொரு பிரிவும், பிரதம அளவிப் பிரிவில் $\frac{9}{10}$ மடங்காகும். இவ்விரண்டு பிரிவுகளின் நீள வேற்றுமை $\frac{1}{10}$ அளவிப் பிரிவாகும். இவ்வேற்றுமைதான் இவ்வர்னியரின் 'கீழ் அளவுத்திறன்' ஆகும். (**Least count**)

இதில் மற்றொரு வகை எதிர் வர்னியர். இதன் துணையளவிப் பிரிவுகள், பிரதம அளவிப்பிரிவுகளைவிட சற்று பெரியதாக இருக்கும். பொதுவாக $(n+1)$ பிரதம அளவிப் பிரிவுகளின் நீளத்தைக்கொண்ட துணையளவியின் ஓரம் n சமபாகங்களாகப் பகுக்கப்பட்டு வலமிருந்து இடம் வரையிடப்பட்டிருக்கும். இதன் 'கீழ் அளவுத்திறன்' $\frac{1}{n}$ பிரதம அளவிப் பிரிவாகும். உதாரணம் :—வர்னியரின் (துணையளவியின்) நீளம் 11 பிரதம அளவிப்பிரிவுகளின் நீளத்தை உடையது. இதன் ஓரம் 10 சமபாகங்களாகப் பகுக்கப்பட்டு, பிரதம அளவிக்கு எதிரிடையாக வாசிக்கும்படி வலமிருந்து இடம் வரையப்பட்டிருக்கும். இவ்வர்னியரின்கீழ் அளவுத்திறன் $\frac{1}{10}$ பிரதம அளவிப் பிரிவாகும்.

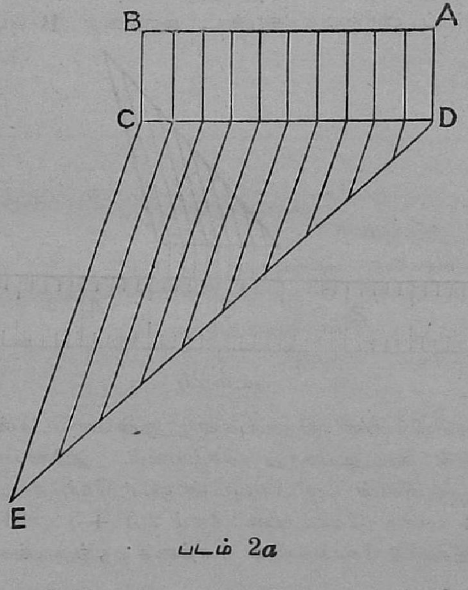
சோதனை 2 :—

பதின் அங்குலங்களாகவும், ·5 செ. மீட்டர்களாகவும் பிரிக்கப்பட்ட ஓர் அளவிச்சட்டத்துடன் உபயோகித்து, (1) ·01 அங்குலம் வரை அளக்க ஓர் நேர்வர்னியரும், (2) ·05 செ. மீட்டர் வரை அளக்க ஒரு எதிர்வர்னியரும் செய்க.

இவைகளைக்கொண்டு சுமார் 5, 7, 9 செ. மீட்டர்கள் நீளம் உள்ள கோடுகளின் நீளங்களைப் பிரிட்டிஷ், மெட்ரிக் இரு திட்டங்களிலும் அளவிடுக.

வர்னியர் செய்முறை :—

ஒரு வெள்ளைக் காகித அட்டைத் துண்டில், குறுகலான **ABCD** *என்ற ஓர் நீள் சதுரம் வரைக. அதன் நீளம் ·9″ இருக்கவேண்டும். அகலம் சுமார் $\frac{1}{4}$″ இருந்தால் போதும்.* **CD** *என்ற நீளத்தைக் கீழ்க் கண்டபடி பத்து சமபாகங்களாகப் பிரிக்கவும்.*



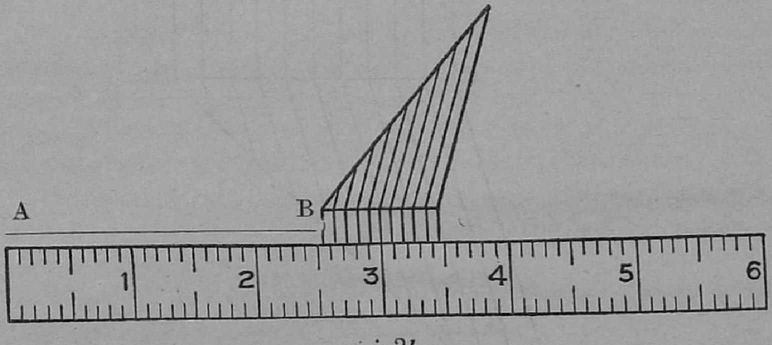
படம் 2*a*

D-*யிலிருந்து* **DE** *என்ற எதாவது ஓர் சாய் கோடு வரைந்து, அதில் ஒரு கவராசத்தைக்கொண்டு, சம இடை தூரமுள்ள 10 புள்ளிகள் குறிக்கவும்.* **10**-*வது புள்ளி* **E**-*ஐ* **C**-*யுடன் ஓர் நேர்கோட்டால் இணைக்கவும். மற்ற ஒவ்வொரு புள்ளியிலிருந்தும்* **EC**-*க்கு இணையான நேர் கோடுகள் வரைந்து* **CD**-*யில் பத்து புள்ளிகளில் சந்திக்கும்படி செய்ய*

வும். CD இப்பத்து புள்ளிகளால் பத்து சமபாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. இவை ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் AB-க்கு நேர் குத்துக்கோடுகள் வரைக. AB-ஐ A-யிலிருந்து 0, 1, 2, 3..........10 என்று அளவு வரையிடுக. பிறகு ABCD என்ற நீள் சதுரத்தைத் தனியாகக் கத்தரித்து எடுக்கவும். இந்நீள் சதுரம்தான் வர்னியரின் துணையளவியாகும். பதின் அங்குலங்களாகப் பிரிக்கப்பட்ட ஒரு பிரதம அளவிச்சட்டத்தின் விளிம்புடன் இதை நகரும்படி இணைக்கவும். இவ்வர்னியரின் கீழ் அளவுத்திறன் $\frac{1}{10}$ பிரதம அளவிப் பிரிவு அல்லது ·01 அங்குலமாகும்.

நீளத்தை அளவிடும் முறை :—

சுமார் 5 செ. மீட்டர் நீளம் உள்ள கோட்டை எடுத்துக்கொள்ளவும். அதன் ஒரு முனையுடன் பிரதம அளவியின் சூனியப் பிரிவைச் சேர்த்து வைத்து அளவியின் விளிம்பைக் கோட்டுடன் ஒட்டியிருக்கும்படி செய். கோட்டின் மற்றொரு முனை அளவியில் 2·5 அங்குலத்திற்கு மேலும், 2·6 அங்குலத்திற்குக் குறைவாகவும் இருப்பதைக் கவனிக்கவும். துணையளவியின் சூனியப் பிரிவைக்கொண்ட ஓரத்தை B-யுடன் அணைத்து



படம் 2b

இவ்விரண்டு அளவிகளின் விளிம்புகளும் ஒன்றோடொன்று ஒட்டியிருக்கும்படி படத்தில் காட்டியவாறு செய்யவும். துணையளவியின் 5-வது பிரிவு பிரதம அளவியின் ஒரு பிரிவுடன் ஒரே நேர்கோடாக இருப்பதைக் காண்க. AB என்ற கோட்டின் நீளம் $2{\cdot}5'' + 5 \times {\cdot}01 = 2{\cdot}55''$. இவ்வாறே மற்ற இரண்டு கோடுகளின் நீளத்தை அங்குலங்களில் அளவிடுக.

எதிர்வர்னியர் :—

சாமானிய அளவிச்சட்டங்களில் மில்லிமீட்டர்கள்தான் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இப்பிரிவுகள் மிகவும் நெருக்கமாக இருக்குமாதலால், இச்சோதனைக்கு வேண்டிய பிரதம அளவியை நாமே காகித அட்டையில் செய்துகொள்ளவேண்டும்.

இதில் ஒவ்வொரு செ. மீட்டரையும் இரண்டு சமபாகங்களாகப் பிரித்துக்கொள்ளவும். இதன் அளவிப் பிரிவுகளின் இடைத்தூரம் ·5 சென்டிமீட்டர். இத்துடன் உபயோகிக்கும்படி ஓர் துணையளவியை முன் செய்தவாறே வரைந்து கத்தரிக்கவேண்டும். இதன் நீளத்தை 11 பிரதம அளவிப் பிரிவுகளின் (5·5 செ. மீ.) நீளமாகக்கொண்டு அதை 10 சமபாகமாக நேர்கோடுகளால் பிரித்து வலமிருந்து இடம் வாசிக்கும்படி 0, 1, 2, 3............10 என்று அளவி வரையிடவும். இத்துணையளவியின் ஒவ்வொரு பிரிவும் $\frac{11}{10}$ பிரதம அளவிப்பிரிவின் நீளத்தைக் கொண்டது. இரண்டு பிரிவுகளின் நீள வேற்றுமை $\frac{1}{10}$ பிரதம அளவிப் பிரிவாகும். அதாவது $\frac{1}{10} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{20}$ செ. மீட்டர் இதுதான் இவ்வெதிர் வர்னியரின் 'கீழ் அளவுத்திறன்'.

இதைக்கொண்டு **A B** என்ற கோட்டின் நீளத்தை அளக்க பிரதம அளவியின் சூனியப்பிரிவை **A** என்னும் முனையுடன் சேர்த்து வைத்து துணையளவியின் 10-வது பிரிவைக்கொண்ட ஓரத்தைக் கோட்டின் **B** என்ற முனையுடன் சேர்த்து பிரதம அளவியின் ஏதாவது ஒரு பிரிவுடன் பொருந்தி நிற்கும் துணையளவிப்பிரிவின் வாசகத்தைக்குறித்து கோட்டின் நீளத்தை முன்போல் கணக்கிட்டுக்காண்க. இவ்வாறே மற்ற கோடுகளின் நீளங்களை அளவிட்டு நிரலிடுக.

கோட்டின் எண்ணிக்கை	நேர் வர்னியர் அளவு			எதிர் வர்னியர் அளவு			அங்குலத்தில் உள்ள செ. மீட்டர்
	பிரதம அளவியின் வாசகம்	துணையளவியின் வாசகம்	கோட்டின் நீளம் (அங்குலம்) y	பிரதம அளவியின் வாசகம்	துணையளவியின் வாசகம்	கோட்டின் நீளம் (செ. மீட்டர்) x	$\frac{x}{y}$
1							
2							
3							

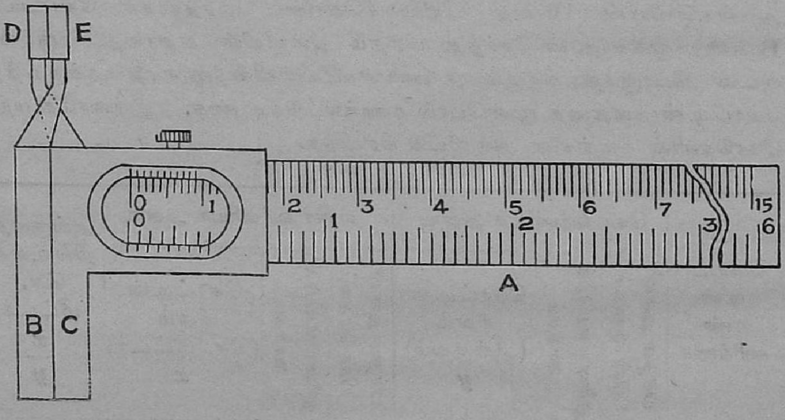
இதில் 8-வது கட்டத்தில் உள்ள வாசகங்களின் இடை மதிப்பை (**Average**) க் காண்க. இதுவே ஓர் அங்குலத்தில் உள்ள செ. மீட்டரின் எண்ணிக்கை.

3. வர்னியர் காலிபர் (slide calipers)
வர்னியர் இடுக்கிக்கோல்

சிறிய பொருள்களின் நீளங்களை மிகக் குறைந்த திருத்தத்துடன் அளக்க இக்கருவி மிகப் பயன்படுகிறது.

கருவியின் விவரணம் :—(Description)

சாமான்யமாக உபயோகிக்கப்படும் வர்னியர் காலிபரின் உருவத் தோற்றத்தைப் படத்தில் காண்க. (படம் 3)



படம் 3

அதில் **A** என்பது மெல்லிய எஃகுத் தகட்டால் செய்த ஒரு அளவிச் சட்டம். அதன் ஒரு ஓரத்தில் மில்லி மீட்டர்களும் மற்றொரு ஓரத்தில் அங்குலங்களும் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். ஒவ்வொரு அங்குலமும் 16 சம பாகங்களாகப் பகுக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சட்டத்தின் இடது நுனியில் படத்தில் காட்டியவாறு, ஒரு நேர்மையான ஓரத்தைக்கொண்ட **B** என்ற எஃகினால் செய்த ஒரு சிறிய அலகு இதற்குச் செங்குத்தாக நகராமல் கெட்டியாக பிணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதேபோல் **C** என்ற மற்றொரு அலகு அளவிச்சட்டத்தில் செருகப்பட்டிருக்கிறது. இதை அளவிச் சட்

டத்தில் எந்த இடத்திற்கும் நகர்த்தி அதிலுள்ள ஒரு திருகினால் நகராமல் பிணிக்கலாம். (can be fixed). இந்த நகரும் அலகு தன்னுள் இரண்டு வர்னியரைக்கொண்டுள்ளது. ஒன்று பிரிட்டிஷ் வர்னியர்; மற்றொன்று மெட்ரிக் வர்னியர். பிரிட்டிஷ் வர்னியரில் 7 பிரதம அளவுப் பிரிவுகளின் நீளம் 8 சமபாகங்களாகப் பகுக்கப்பட்டிருக்கும் ஒவ்வொரு வர்னியர் பகுதியின் நீளம் $\frac{7}{8}$ பிரதம அளவிப் பிரிவாகும். இதன் கீழ் அளவுத்திறன் $1-\frac{7}{8}=\frac{1}{8}$ பிரதம அளவிப்பிரிவு. அதவாது $\frac{1}{8}\times\frac{1}{16}=\frac{1}{128}$ அங்குலம். இவ்வாறே மெட்ரிக் வர்னியரின் கீழ் அளவுத்திறனையும் கண்டு கொள்ளலாம்.

சூனியப்பிழை :—

C என்ற அலகை B யுடன் இடை வெளி இல்லாமல் சேர்த்து வைத்தால் வர்னியர்களின் இரு சூனியப் பிரிவுகளும் பிரதம அளவியின் சூனியப் பிரிவுகளும் சாதாரணமாக ஒன்றுபட்டிருக்கும். அப்படி அவை ஒன்று படாதிருந்தால் இக்கருவியில் சூனியப்பிழை இருப்பதாகக் கருதி அப்பிழையைக் கண்டளந்து கொள்ளவேண்டும். இதைக் காணும் விதம் பின்வருமாறு :—இடைவெளி இல்லாமல் C ஐ B யுடன் சேர்த்து வர்னியரைக் கவனிக்க. வர்னியரின் சூனியப்பிரிவு பிரதம அளவியின் சூனியப்பிரிவுடன் ஒன்று பட்டிருந்தால், இக்கருவிக்கு சூனியப்பிழை இல்லை. வர்னியரின் சூனியப்பிரிவு அளவியின் சூனியப்பிரிவுக்கு இடது பக்கத்தில் தள்ளி இருந்தால், பிரதம அளவியின் ஏதாவது ஒரு பகுப்புக் கோட்டுடன் பொருந்தி ஒன்றுபட்டிருக்கும் வர்னியர் பகுப்புக்கோட்டின் எண்ணிக்கையை கவனித்துக் குறிக்க. உதாரணமாக பிரிட்டிஷ் வர்னியரில் இவ்விதம் பொருந்தி நிற்பது 3-வது பகுப்புக்கோடு என்றால் சூனியப்பிழை $3\times\frac{1}{128}$ அங்குலம். பின்னால் பொருள்களின் நீளத்தைக் காணும்பொழுது இக்கருவியில் கிடைக்கும் தோற்ற வாசகத்துடன் (apparent reading) இப்பிழையைக் கூட்டித்திருத்தவேண்டும். வர்னியரின் சூனியப்பிரிவு, அளவியின் சூனியப்பிரிவுக்கு வலப்பக்கம் தள்ளி இருந்தால், முன் கூறியவாறு இப்பிழையின் அளவைக் கணக்கிட்டுப் பின்னால் இக்கருவியில் கிடைக்கும் தோற்ற வாசகத்திலிருந்து இதைக் குறைத்து பிழை திருத்தம் செய்க.

இக்கருவியை உபயோகப்படுத்துமுன் இதன் வர்னியர்களின்கீழ் அளவுத்திறன்களையும் சூனியப் பிழைதிருத்தங்களையும் முதலில் கண்டு

குறித்துக்கொள்வது அவசியம். கீழ்க்கண்டவாறு வரிசைக்கிரமமாக இக் கருவியின் அளவுத் திட்டங்களைக் குறிக்க.

விபரம்	பிரிட்டிஷ் திட்டம்	மெட்ரிக் திட்டம்
பிரதம அளவிப் பிரிவின் நீளம் ...		
வர்னியரின் மொத்த நீளம் ...		
வர்னியரிலுள்ள மொத்த பிரிவுகளின் எண்ணிக்கை		
வர்னியரின் ஒரு பிரிவின் நீளம் ...		
கீழ் அளவுத்திறன் ...		
சூனியப் பிழை திருத்தம் ...		

சோதனை 3 :—

கொடுத்திருக்கும் உருளையின் நீளத்தையும், விட்டத்தையும் பிரிட்டிஷ் மெட்ரிக் இருதிட்டங்களிலும் அளவிடுக. அதன் கன அளவை இவ்விருதிட்டங்களிலும் கணக்கிட்டு ஒரு கன அங்குலத்தில் கொண்ட கன செ. மீட்டர்களைக் காண்க :—

அளவிடும் முறை :—

உருளையின் நீளத்தை அளக்க, அதை நீட்டுப்போக்கில் இக்கருவியின் இரு அலகுகளின் நடுவில் இட்டு, நகரும் அலகை நெருக்கி, உருளையை இலேசாகக் கவ்விக்கொள்ளும்படிப் பிணிக்கவும். முதலில் மெட்ரிக் வர்னியரைக் கவனிக்கவும். அதன் சூனியப்பிரிவு பிரதம அளவியில் நிற்கும் பகுப்பிடத்தின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்க. பிறகு பிரதம அளவியின் ஏதாவது ஒரு பிரிவுடன் பொருந்தி நிற்கும் வர்னியரின் பகுப்புக்கோட்டின் வாசகத்தைக் கண்டு உருளையின் நீளத்தைக் கணக்கிடவும். உருளையின் மூன்று இடங்களில் அதன் நீளத்தைக் கண்டுபிடித்து அவைகளின் இடை மதிப்பை (mean value)க் காண்க. இந்த இடை மதிப்பு உருளையின் சரியான நீளத்தைக் கொடுக்காது. இதைச் சூனியப் பிழை திருத்தம் செய்து உருளையின் சரியான நீளத்தைப் பதிவு செய்க. இவ்விதமே இதன் நீளத்தை பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலும், இதன் விட்டத்

தை இவ்விரு திட்டங்களிலும் அளந்து கீழ்க்கண்டவாறு தனித்தனியாக நிரலிடுக.

திட்டம்	அளவு	எண்ணிக்கை	பிரதம அளவியின் வாசகம்	வார்னியரின் வாசகம்	திருத்தம் செய்யாத நீளம் அல்லது விட்டம்	திருத்தம் செய்த நீளம் அல்லது விட்டம்	இடை மதிப்பு
மெட்ரிக் திட்டம் செ. மீ.	நீளம்	1					}
		2					
		3					
	விட்டம்	1					}
		2					
		3					
பிரிட்டிஷ் திட்டம் அங்குலம்	நீளம்	1					}
		2					
		3					
	விட்டம்	1					}
		2					
		3					

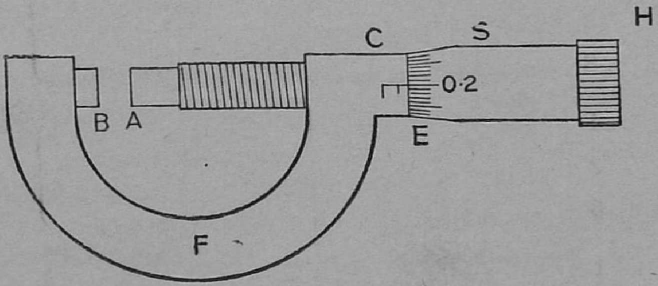
இவ்விதம் கிடைத்த நீளம், விட்டம் இரண்டையும் எடுத்தெழுதி உருளையின் கன அளவை இருதிட்டங்களிலும் கணக்கிட்டு ஒரு கன அங்குலத்திலுள்ள கன செ. மீட்டரைக் காண்க.

நீளம் l அங்குலம், விட்டம் d அங்குலமானால், அதன் கன அளவு $\frac{\pi \times d^2 \times l}{4}$ கன அங்குலம்.

மெட்ரிக் திட்டம்			பிரிட்டிஷ் திட்டம்			ஒரு கன அங்குலத்திலுள்ள கன. செ. மீ.
நீளம் செ. மீ.	விட்டம் செ. மீ.	கன அளவு x கன. செ. மீ	நீளம் அங்.	விட்டம் அங்.	கன அளவு y கன. அங்	$\frac{x}{y}$

4. திருகுமானி (screw gauge)

மெல்லிய கம்பிகளின் விட்டத்தையும், மெல்லிய தகடுகளின் கனத்தையும் மிகவும் நுணுக்கமாக வெகு குறைந்த திருத்தத்துடன் அளக்க இக்கருவி பயன்படுகிறது. சாமான்யமாக உபயோகப்படும் கருவிகளால் மேற்கூறிய அளவுகளை $\frac{1}{100}$ மில்லி மீட்டர் வரை அளக்கலாம்.



படம் 4

இக்கருவியில் U உருக்கொண்ட F என்ற கெட்டியான உலோகச் சட்டம் ஒன்று உள்ளது (படம் 4). அதன் ஒரு முனையில் B என்ற சமதள முனையைக்கொண்டத் திருகாணி ஒன்று கெட்டியாக முடுக்கப் பட்டிருக்கிறது. இச்சட்டத்தின் மற்றொரு முனையில் C என்ற உள் மறைகொண்ட ஒரு உருளை இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இம்மறை தன்னுள் சுழன்று நகரும்படி ஒரு திருகாணியைக் கொண்டுள்ளது. இத் திருகின் A என்ற முனை B என்ற சமதள முனைக்கு இணையான தளத்தைக்கொண்டுள்ளது, இத்திருகின் H என்ற அடிப்பாகத்துடன் S என்ற ஒரு உறை (Sleeve) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வுறையின் E என்ற சாய்ந்து செதுக்கப்பட்ட விளிம்பு (Bevelled edge) சாதாரணமாக 50 சமபாகங்களாகக் கோடுகளால் பகுக்கப்பட்டு அளவு வரையிடப்பட்டிருக்கும். இது தலை அளவி (Head scale) எனப்படும். C என்ற உள்மறைகொண்ட உருளையின் மேல் நெடுக வரையப்பட்ட ஒரு நேர் கோட்டில் மில்லி மீட்டர்களைக்கொண்ட ஒரு அளவி செதுக்கப்பட்டிருக்கும். இது இக்கருவியின் பிரதம அளவி (Pitch Scale.)

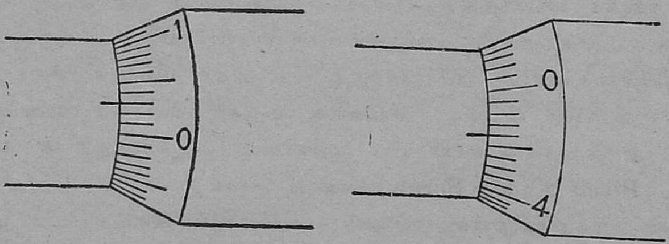
இக்கருவியை உபயோகிக்குமுன் இதன் கீழ் அளவுத் திறனையும் சூனியப்பிழை திருத்தத்தையும் கண்டு குறிக்கவேண்டும். முதலில்

திருகின் தலையைச் சுழற்றி A என்னும் முனை Bயிலிருந்து கொஞ்சம் விலகி இருக்கச் செய்க. பிறகு இவ்வுறையின் விளிம்பு ஏதாவது ஒரு பிரதம அளவிப் பிரிவுடன் பொருந்தி இருக்கச் செய்து அப்பிரிவின் வாசகத்தைக் கவனித்துக்கொள்க. இப்பொழுது உறையைச் சரியாக நான்கு சுற்று சுற்றவும். உறையின் விளிம்பு இந்நான்கு சுற்றினால் பிரதம அளவியில் எவ்வளவு தூரம் நகர்ந்தது என்பதைக் கண்டு குறிக்க. இதிலிருந்து உறையின் விளிம்பு ஒவ்வொரு முழுச் சுற்றுக்கும் முன்னேறும் இடை தூரத்தைக் கணக்கிடுக. இவ்விடை தூரத்தைத்தான் திருகின் இடை (Pitch of the Screw) என்று சொல்லுகிறோம். இது இத் திருகின் அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு வரம்புகளுக் கிடைப்பட்ட தூரம். இவ்விளிம்பை அதன் மேலுள்ள தலை அளவியின் உதவியால் ஒரு சுற்றில் 50-ல் ஒரு பாகம் சுற்றலாம். அதாவது தலை அளவியில் ஒரு பிரிவு நகரும் படி திருகினால் திருகு சுற்றுவது ஒரு முழுச்சுற்றில் 50-ல் ஒரு பங்கே. இதனால் A என்னும் முனையானது திருகினிடை தூரத்தில் 50-ல் ஒரு பங்கு தான் முன்னேறும். இது, திருகினிடை தூரத்தைத் தலையளவியின் மொத்தப் பிரிவெண்ணிக்கையால் வகுத்துக் கிடைக்கும் ஈவுதான். இதுதான் இக்கருவியின் கீழ் அளவுத்திறன் (least count).

சாமானியமாக உபயோகப்படும் கருவிகளில் பிரதம அளவி மி. மீட்டர்களாகப் பகுக்கப்பட்டிருக்கும். உறை விளிம்பு 50 சம பாகங்களாகப் பிரிக்கப்பட்டு அளவு வரையிடப்பட்டிருக்கும். இதை நான்கு தடவைகள் சுழற்றினால், இது 2 மி. மீட்டர் தூரம் நகரும். அதனால் இதன் திருகினிடை $\frac{2}{4} = {\cdot}5$ மி. மீட்டர். இதன் கீழ் அளவுத்திறன் $\frac{\cdot 5}{50} = {\cdot}01$ மி. மீட்டராகும்.

இப்பொழுது இதன் சூனியப்பிழையைக்கண்டு திருத்தும் வழியைச் சற்று விவரமாகக் கவனிப்போம். திருகின் தலையைச்சுழற்றி A என்னும் முனை Bயுடன் இடைவெளி இல்லாமல் இலேசாகச் சேரும்படிசெய்து விளிம்பிலுள்ள தலையளவியின் சூனியப்பிரிவு பிரதம அளவியின் சூனிய பிரிவுடன் ஒன்றுபட்டிருக்கிறதா என்று கவனிக்க. உறையின் விளிம்பு பிரதம அளவியின் சூனியப்பிரிவுடன் ஒட்டி நின்று, தலையளவியின் சூனியப்பிரிவு, பிரதம அளவியின் கோட்டுடன் ஒன்றுபட்டிருந்தால் இக்கருவிக்குச் சூனியப்பிழை இல்லையென்று கொள்க. ஆனால் அநேகமாக எல்லாக் கருவிகளிலும் இவ்விரு சூனியப்பிரிவுகளும் ஒன்றுபட்டிராது. கீழே வரையப்பட்ட இரு படங்களைக் கவனிக்க. தலையளவி

யின் சூனியப் பிரிவுக்குப் பதிலாக படம் (5*a*)ல் காட்டியவாறு, 3-வது பிரிவு பிரதம அளவிக்கோட்டுடன் ஒன்றுபட்டிருந்தால்



(*a*) படம் 5 (*b*)

இதன் சூனியப்பிழை + 3 தலையளவிப் பிரிவுகள். இதன் திருத்தம் — 3 தலையளவிப்பிரிவுகள் ; அதாவது — ·03 மில்லி மீட்டர். இதே விதம் தலையளவியின் சூனியப்பிரிவுக்குப் பதிலாக (படம் 5*b*) 46-வது பிரிவு பிரதம அளவிக் கோட்டுடன் ஒன்றுபட்டிருந்தால் இதன் சூனியப்பிழை—4 தலையளவிப் பிரிவுகள் ; இதன் திருத்தம் +4 தலையளவிப் பிரிவுகள் ; அதாவது +·04 மி. மீட்டர்.

இதுவரை சொல்லி வந்த இக்கருவியின் அளவு திட்டங்களைக் கீழ்க் கண்ட வரிசைக் கிரமமாகக்கண்டு குறித்துக்கொள்வது அவசியம்.

(1) பிரதம அளவியின் ஒரு பிரிவின் நீளம் =

(2) திருகின் இடைத்தூரம் (Pitch of the Screw) =

(3) தலையளவியின் பிரிவுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை =

(4) கீழ் அளவுத்திறன் =

(5) கருவியின் சூனியப்பிழை =

(6) சூனியப்பிழை திருத்தம் =

சோதனை (4) :—

இக்கருவியைக்கொண்டு கொடுத்திருக்கும்

(1) கண்ணாடி வில்லையின் கனம்

(2) மெல்லிய கம்பியின் விட்டம்

இவை இரண்டையும் அளவிடுக.

செய்முறை :—

ஒரு பொருளின் கனத்தை அளக்க அதை A, B என்ற இருதளங்களினிடையிலிட்டு திருகின் H என்ற தலையைச் சுழற்றி அப்பொருளை இலேசாகக் கவ்விக்கொள்ளச் செய்க. அவசியமான அளவுக்கு அதிகம் திருகை முடுக்கினால் அளவிடப்படும் பொருள்களின் உரு மாற ஏதுவாகும். அதோடு திருகுகளின் சமதள முனைகளும், A என்ற திருகின் வரம்புகளும் கெட்டுவிடும். உயர்ந்த கருவிகளில் இத்தொல்லையைத் தவிர்ப்பதற்காக H என்ற திருகுதலை ஒரு நழுவும் திருகாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இதனால் அளவுக்கு மீறித்திருகினால், திருகு முன்னேறாமல் தலைமாத்திரம் சுழலும்.

கொடுத்திருக்கும் வில்லையை மேற்சொன்னவாறு இருதிருகுகளினிடையிலிட்டு, பிரதம அளவி, தலையளவி இவ்விரண்டு வாசகங்களைக் குறித்து வில்லையின் கனத்தைக் கணக்கிடுக. உதாரணமாக பிரதம அளவியின் வாசகம் 2 மி. மீட்டர், தலையளவியின் வாசகம் 32 பிரிவுகள் என்றால் வில்லையின் கனம் $2+32\times{\cdot}01=2{\cdot}32$ மி. மீட்டர். கருவிக்குச் சூனியப்பிழை இருந்தால் இவ்வாசகத்தைத் திருத்தி சரியான கனத்தைக் காண்க. வில்லை ஒரே கனமுள்ளதாக இல்லாமலிருக்கலாம். அதனால் அதன் கனத்தை நான்கு இடங்களில் அளந்து இவைகளின் இடை மதிப்பைக் கொடுக்க. கிடைக்கும் வாசகங்களைக் கீழ்க்கண்ட விதம் நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

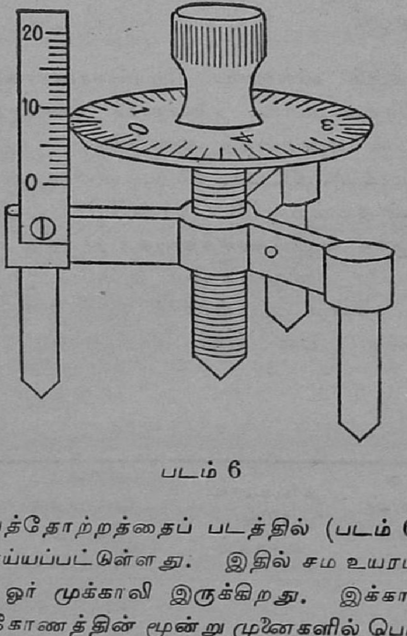
எண்ணிக்கை	பிரதம அளவியின் வாசகம் மி. மீட்டர்.	தலையளவியின் வாசகம்	திருத்தம் செய்யாத கனம் மி. மீட்டர்	திருத்தம் செய்த கனம் மி. மீட்டர்

வில்லையின் கனத்தின் இடை மதிப்பு =

இவ்விதமே கொடுத்திருக்கும் மெல்லிய கம்பியின் விட்டத்தை 4 இடங்களில் அளந்து நிரலிடுக.

5. உருட்சியளவி (Spherometer)

இக்கருவியின் தத்துவம் திருகுமானியினுடையதைப்போல் திருகின் தத்துவத்தைக்கொண்டது. இதனல் மெல்லிய தகடுகளின் கனத்தை அளக்கலாம். தவிர, சமகுவி ஆடி (Spherical mirrors), சமகுவி வில்லை, சமகுழி வில்லை (convex and concave lens) இவற்றின் சமகுவிப் பரப்பின் வளைவு ஆரங்களை (Radius of curvature) அளக்க இக்கருவி ஒரு முக்கிய சாதனமாக இருக்கிறது.



படம் 6

இதன் உருவத்தோற்றத்தைப் படத்தில் (படம் 6) காண்க. இது உலோகத்தால் செய்யப்பட்டுள்ளது. இதில் சம உயரம்கொண்ட மூன்று கால்களை உடைய ஓர் முக்காலி இருக்கிறது. இக்கால்களின் முனைகள் ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் மூன்று முனைகளில் பொருந்தக்கூடியவை. இம்முக்காலியின் நடுவில் உள்ள ஒரு சன்னமான மரை தன்னுள் சுழன்று நகரும்படி ஒரு திருகைக்கொண்டுள்ளது. இதன் கீழ்முனை கூர்மையானது. இதன் வரம்பிடப்பட்ட தலையுடன் ஒரு பெரிய வட்டமான தட்டு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் விளிம்பு சாதாரணமாக 100 சமபாகங்களாகச் சிறிய கோடுகளால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கும். இது இக் கருவியின் தலையளவி. (Head scale). இத்தட்டின் விளிம்புடன் ஒட்டி நிற்கும்படி, மில்லிமீட்டர்களாகப் பகுக்கப்பட்ட ஒரு சிறு அளவிச் சட்டம் செங்குத்தாக முக்காலியின் ஒரு காலுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது இதன் பிரதம அளவி. (*Pitch scale*)

இக்கருவியை உபயோகிக்க முதலில் இதன் திருகினிடை தூரத்தையும் (Pitch of the screw), கீழ் அளவுத்திறனையும் (Least count) கண்டு குறிக்கவேண்டும். தலையளவிப்பிரிவு ஒன்றைப் பிரதம அளவியின் ஏதாவது ஒரு பிரிவுடன் ஒன்றியிருக்கச்செய்து, இத்திருகின் தலையை 4 முழுச்சுற்றுகள் சுற்றவும். தட்டின் விளிம்பு பிரதம அளவியில் எவ்வளவு தூரம் முன்னேறியது என்பதைக் கவனித்து இதை 4-ஆல் வகுத்துக் கிடைத்த தூரம்தான் இதன் திருகினிடை. இவ்விடைதூரம் சாமானியக் கருவிகளில் ·5 மில்லி மீட்டராக இருக்கும். இத்திருகினிடையை தலையளவியிலுள்ள பிரிவுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையால் வகுத்து வரும் ஈவு இக்கருவியின் 'கீழ் அளவுத்திறன்.' தலையளவியில் மொத்தம் 100 பிரிவுகள் இருந்தால் இதன் கீழ் அளவுத்திறன் ·5/100 = ·005 மி. மீட்டராகும்.

நாம் ஆண்டுவரும் கருவிகளில் பிரதம அளவியின் பகுப்புக்கோடுகள் கீழிருந்து மேல் நோக்கி —5, 0, 5, 10 என்று அளவு வரையப்பட்டிருக்கும். இவ்விதம் வரையிடப்பட்டிருப்பது நமக்கு அனுகூலமில்லை. அதனால் இப்பிரதம அளவியின் பகுப்புக்கோடுகளை நம் மனதில் 0, 5, 10, 15 என்று கீழிருந்து மேல் நோக்கி வரையிடப்பட்டிருப்பதாகக் கருதிக்கொள்ளவேண்டும். இவ்விதம் கருதினால், இதன் சூனியப்பிழையைக் காண அவசியமில்லை. அதனால் இக்கருவியை உபயோகிப்பதும் எளிதாயிருக்கும்.

முதலில் இக்கருவியை ஒரு சமதளக் கண்ணாடிவில்லையின்மேல் வைத்து, திருகைக் கீழ் நோக்கிச் செல்லும்படியாகச் சுற்றவும். இப்படித் திருகிக்கொண்டேவந்து திருகின் முனை கண்ணாடியின் தளத்தைத் தொட்டவுடன் சுற்றுவதை நிறுத்தவும். இதைவிட அதிகமாகச் சுற்றினால் திருகின் உயரம் மற்ற மூன்று கால்களைவிட அதிகமாகி, கருவியே திருகுமுனையைச் சுற்றிச் சுழலும். இப்போது திருகின் தலையை விரலால் இலேசாக ஆட்டினால் இக்கருவி நொடிக்கும். இந்த நொடிக்கும் தன்மை மறையும்வரை திருகைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக மேலே தூக்கவும். கண்ணாடியின் தளத்தில் மூன்று கால்களின் முனைகளும் திருகின் முனையும் பொருந்தி நிற்கவேண்டும். இவ்விதம் நிற்கச் செய்து, இதன் பிரதம அளவியின் வாசகத்தையும், தலையளவியின் வாசகத்தையும் குறித்து, மொத்த வாசகத்தைக் கணக்கிடுக. இவ்வாசகம்தான் உருட்சியளவியின் சூனிய வாசகம் எனப்படும். இதன் அளவுத் திட்டங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரிசையாகக் குறிக்க:—

1. பிரதம அளவியின் ஒரு பிரிவின் நீளம் } =

2. திருகினிடை தூரம் =

3. தலையளவியிலுள்ள மொத்தப் பிரிவுகள் } =

4. உருட்சியளவியின் கீழ் அளவுத்திறன் } =

5. இதன் சூனிய வாசகம் [அதாவது, சமதளக் கண்ணாடியின் மேல் நான்கு முனைகளையும் நிற்க வைத்து எடுத்த வாசகம்] } =

சோதனை (5) :—

1. ஒரு கண்ணாடிச் சில்லின் கனத்தை அளவிடுக :—

இச்சில்லைச் சமதளக் கண்ணாடியின்மேல் உருட்சியளவியின் திருகு முனைக்கடியில் இடு. திருகின் தலையை வேண்டிய அளவுக்குச்சுற்றி உருட்சியளவியை, அதன் மூன்று கால்கள் சமதளக் கண்ணாடியின்மேலும், திருகு முனைச் சில்லின்மேலும், பொருந்தி நொடிக்காமல் நிற்கும்படி செய்க. இதன் மொத்த வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்க. இவ்வாசகம், சூனிய வாசகம், இவ்விரண்டின் வேற்றுமையே சில்லின் கனமாகும். இதன் கனத்தைப் பல இடங்களில் கண்டு, இடைமதிப்பைக் காண்க. எடுத்த வாசகங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு நிரலிடுக :—

எண்ணிக்கை	பிரதம அளவியின் வாசகம்	தலை அளவியின் வாசகம்	உருட்சி அளவியின் வாசகம்	சில்லின் கனம்

இடைமதிப்பு :—

2. கொடுத்திருக்கும் குவி வில்லை (convex lens), உருட்சியாடி (concave mirror) இவைகளின் வளைவு ஆரங்களைக் (Radii of curvature) காண்க.

முன் சொன்னவாறு உருட்சியளவியின் சூனிய வாசகத்தைக் கண்டு குறிக்க. இக்கருவியைக் குவிவில்லையின்மேல் வைத்துத் திருகின் தலையை வேண்டிய அளவுக்குச் சுற்றி, வில்லையின் பரப்பின்மேல் இதன் கால்களின் மூன்று முனைகளும் திருகின்முனையும் படும்படிசெய்து உருட்சியளவியை நொடிக்காமல் நிற்கச்செய்க. இப்போது இதன் வாசகத்தைக் கண்டு குறிக்க. இவ்வாசகத்திற்கும், சூனிய வாசகத்திற்கும், உள்ள வேற்றுமையைக் காண்க. இவ்வேற்றுமையை 'h' என்று வைத்துக்கொள்ளுவோம். இதைப் பலமுறைசெய்து 'h'ன் இடை மதிப்பைக் காண்க. 'h' என்பது கால்களின் மூன்று முனைகளைக் கொண்ட தளத்திற்கும் திருகின் முனைக்கும் உள்ள தூரம். கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக :—

உருட்சி அளவியின் சூனிய வாசகம் =

எண்ணிக்கை	பிரதம அளவியின் வாசகம் மி மீட்டர்	தலையளவியின் வாசகம் மி. மீட்டர்	உருட்சியளவியின் மொத்த வாசகம் மி. மீட்டர்	'h' மி. மீட்டர்	'h'ன் இடை மதிப்பு

இப்போது, உருட்சியளவியின் கால்களுக்கு இடைப்பட்ட தூரத்தை அளக்கவேண்டும். திருகின் முனையை மேலே தூக்கி, உருட்சியளவியின் கால்களை ஒரு காகிதத்தில் பதியச் செய்து எடுத்தால், மூன்று புள்ளிகள் பதியும். இப்புள்ளிகளைக்கொண்டு ஒரு முக்கோணம் வரைந்து அதன் பக்கங்களை அளவிடுக. அளவுகளின் இடை மதிப்பை 'l' என்று குறிப்பிடுவோம். 'h', 'l' என்னும் இரு அளவுகளிலிருந்து குவிவில்லையின் வளைவு ஆரம் 'R' ஐக் கீழ்க்கண்ட வாய்பாட்டை உபயோகித்துக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

$$R = \frac{l^2}{6h} + \frac{h}{2}.$$

h, மில்லி மீட்டரிலும்; l, செண்டி மீட்டரிலும் காணப்படுவதால், h-ஐயும் செண்டி மீட்டராக மாற்றி உபயோகிக்க.

இவ்விதமே குழிந்த உருட்சியாடியின் வளைவு ஆரத்தையும் காண்க.

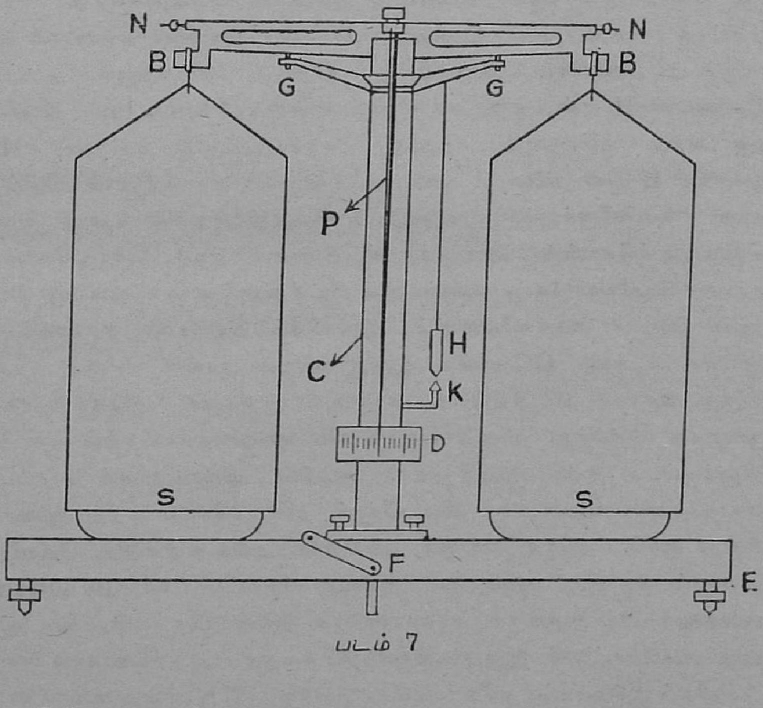
குறிப்பு :—

சாதாரணமாக நாம் உபயோகிக்கும் உருட்சி அளவிகளின் திருகி னிடை 0·5 மி. மீட்டராகும். பிரதம அளவியில் மில்லி மீட்டர்கள்தான் வரையப்பட்டிருக்கும். அரை மி. மீட்டர்கள் குறிக்கப்பட்டிருக்காது. அதனல், இதன் வாசகத்தைக் கணக்கிடுகையில் தவறு ஏற்படும். உதாரணமாக தலையளவியின் விளிம்பு, பிரதம அளவியின் 6 மி. மீட்ட ருக்கும், 7 மில்லி மீட்டருக்கும் இடையிலிருப்பதாக வைத்துக்கொள்ளு வோம். இப்பொழுது பிரதம அளவியின் வாசகம் இரண்டு விதமாக இருக்கலாம். ஒன்று, தலையளவியின் விளிம்பு 6 மி. மீட்டருக்குமேலும், 6·5 மி. மீட்டருக்குக் கீழும் இருக்கலாம். இவ்விதமிருப்பின் இதன் வாசகம் 6 மி. மீட்டராகும். மற்ருென்று 6·5 மி. மீட்டருக்கு மேலும் 7·0 மில்லி மீட்டருக்குக்கீழும் இருக்கலாம். இவ்விதமிருப்பின் இதன் வாசகம் 6·5 மி. மீட்டராகும். பிரதம அளவியில் அரை மி. மீட்டர்கள் இல்லாததால் இவ்விரண்டு வாசகங்களில் எது சரியானது என்று கண்டு பிடிப்பது சற்று சிரமமாயிருக்கும். சரியான வாசகத்தைக் காணுவிட் டால் ஏற்படும் பிழை 0·5 மி. மீட்டர். 'h' என்னும் மதிப்பு மிகவும் குறைவானது. அதனல், இம்மதிப்பில் 0·5 மி. மீட்டர் பிழை இருந்தால் பின்னல் கணக்கிடும் வளைவு ஆரத்தில் மிகப் பெரிய பிழை உண்டாகும். ஆகையால் இவ்வாசகத்தைக் கவனித்துக் குறிக்கவேண்டும்.

இவ்விதம் கிடைத்த R-ன் மதிப்பை வேறு விதமாகக் கணக்கிட்டுச் சரி பார்க்கலாம். இதில் பிரதம அளவியின் வாசகமே தேவையில்லை. ஆதலின் மேற்சொன்ன பிழை எதுவும் இதில் ஏற்படாது. முதலில் சமதளப் பரப்பைக் கொண்ட கண்ணுடி வில்லையின்மேல் உருட்சியளவி யைப் பொருத்தி நிற்க வை. பிரதம அளவிச்சட்டத்தின் ஓரத்தோடு ஒட்டிநிற்கும் தலையளவிப்பிரிவின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள். இவ் வாசகம் கலையாமல் உருட்சியளவியைக் குவிவில்லையின்மேல் வை. இப்பொழுது இது நொடிக்கும். நொடிக்காமல் பொருத்தி நிற்கவைக்கத் திருகின் தலையைச் சுழற்றி அதன் முனையை மேலே தூக்கு. இப்படிச் சுற்றும்போது, சுற்றும் அளவை தலையளவிப் பிரிவுகளில் கணக்கிடு. உதாரணமாக 536 பிரிவுகள் சுற்றப்பட்டதாக வைத்துக்கொண்டால், திருகின்முனை $0·005 \times 536$ மி. மீ. தூரம் மேலே தூக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த தூரம்தான் 'h'ன் சரியான அளவு. இவ்விதம் 'h'ன் சரியான மதிப்பைக்கண்டு முன் கிடைத்த மதிப்புடன் ஒப்பிட்டுப்பார்.

தராசு (Balance)

தராசினுல் இருபொருள்களின் நிறைகளை ஒப்பிடலாம். இவற்றில் ஒரு பொருளின் நிறை தெரிந்தால், மற்றொரு பொருளின் நிறையைக் காணலாம். தெரிந்த நிறைகளைக்கொண்ட படிக்கற்களை உபயோகித்து பொருள்களின் நிறையை அளவிடலாம். நாம் உபயோகிக்கும் படிக்கற்கள் ஒரு பெட்டியில் வரிசையாக வைக்கப்பட்டிருக்கும். 200 கிராம் முதல் ·01 கிராம் வரை சாதாரணமாக உபயோகப்படும் பெட்டிகளில் அடங்கி யிருக்கும். படிக்கற்களை எடுக்கவும், அவைகளைத் திரும்ப அவைகளி னிடத்தில் வைக்கவும், ஒரு சாமணம் அப்பெட்டிக்குள் இருக்கும். படிக் கற்களை இச்சாமணத்தைக்கொண்டுதான் கையாளவேண்டும்.



படம் 7

தராசின் அமைப்பு :—

BB என்பது, பித்தளை அல்லது அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்ட ஒரு தராசுக்கோல். அது லேசாகவும் உறுதியாகவும் இருக்கும்படி

அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் மத்தியில் 'அகேட்' அல்லது வஜ்ஜிரக் கல்லால் செய்த கத்திமுனை ஒன்று கீழ்நோக்கிப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இக்கத்திமுனை இதன் தாங்கியின் தலையிலுள்ள 'அகேட்' சமதளத்தில் தங்கி நிற்கிறது. இந்தத் தராசுக்கோல் தாங்கி, E என்ற பீடத்தில் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் C என்ற ஒரு தூணின் உள்கூட்டில் சிறிது ஏறி இறங்கும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. பீடத்திலுள்ள F என்னும் கைப்பிடியினால் இதை ஏறி இறங்கச் செய்யலாம். தராசுக்கோலில் BB என்ற இருமுனைகளிலும் உள்ள அகேட் கத்தி முனைகளிலிருந்து இரண்டு 'அங்க வடிகள்' (Stirrups) தொங்குகின்றன. இவைகளில் சம எடையுள்ள SS என்ற இரண்டு தட்டுகள் மாட்டப்பட்டிருக்கின்றன. NN என்பன தராசுக்கோலின் முனைகளிலுள்ள திருகுகளில் சுழன்று நகரக்கூடிய மரைகள். தராசுக்கோலின் மத்தியில் P என்னும் ஒரு நீண்ட முள் ஊசி (Pointer) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது, இதன் கூரான கீழ்முனை, C யிலுள்ள D என்ற ஒரு சிறு அளவியின் ஓரம் நகரும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. C யைச் செங்குத்தாக அமைக்க, இதனுடன் H என்ற ஒரு தூக்கு நூற் குண்டும் (Plumb line) K என்ற ஒரு சிறிய சூசிகையும் (Index) சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. H ன் முனையும் K யின் முனையும் ஒன்றாக நின்றால், தராசுத்தூண் செங்குத்தான நிலையிலிருக்கும். இல்லையேல் பீடத்திற்கடியில் உள்ள மூன்று திருகுகளைக்கொண்டு செங்குத்தாக இதை நிற்கச் செய்யவேண்டும். தராசை உபயோகிக்காத காலங்களில் பீடத்திலுள்ள கைப்பிடியை இடது பக்கம் திருப்பி வைக்கவேண்டும். இவ்விதம் செய்தால் தராசுக்கோலை ஆடவொட்டாமல் GG என்ற இருதாங்கிகள் தாங்கி நிற்கும். தவிர, இருதட்டுகளும் பீடத்தில் உட்காரும். இதனால் 'அகேட்' கத்தி முனைகள் தேய்ந்து வீணாகாமல், வெகு காலம் தராசு நல்ல ஸ்திதியில் இருக்கும். இப்பொழுது தராசு கட்டுப்பட்டிருப்பதாகக் கூறப்படும். கைப்பிடியை வலப்பக்கம் திருப்பினால் தராசுக்கோல் கத்தி முனையில் நின்று ஆடும். இருதட்டுகளும் அவற்றின் அங்க வடிகளில் தொங்கும். இதனால், தராசு, 'ஆடும் நிலை' அல்லது விடுபட்ட நிலை (in action or released) யில் இருக்கும். சாதாரணமாக இதன் முள் ஊசி முனை, அளவியின் நடுக்கோட்டின் இருபக்கங்களிலும் சமதூரம் ஆடிக்கொண்டிருக்கும். அவ்விதம் இல்லாமல் ஒரே பக்கம் போனால் NN என்ற மரைகளை உபயோகித்து முள் ஊசியை அளவியின் நடுக்கோட்டின் சமீபம் கொண்டு வரலாம். ஒவ்வொரு தராசும் ஒரு கண்ணாடிப்பெட்டியில் வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

தராசை உபயோகிக்கும்பொழுது அவசியமாக அனுசரிக்கவேண்டிய விதிகள் :—

1. தராசு சரியானபடி ஆடும் நிலையில் இல்லாமலிருந்தால் அதைச் சரிப்படுத்த முயலாமல் ஆசிரியரிடம் சொல்லவேண்டும்.

2. தராசின் தூணில் அமைக்கப்பட்ட அளவியின் பிரிவுகளை இடமிருந்து வலம் வாசிக்கவும்.

3. தட்டுகளில் சாமான் அல்லது படிக்கற்கள் இவைகளைப் போடும் பொழுதும் எடுக்கும்பொழுதும் தராசு, கட்டுப்பட்ட நிலையில் இருக்க வேண்டும். கைப்பிடி இடது பக்கம் திருப்பி இருக்கவேண்டும். இது மிக்க அவசியம்.

4. தராசின் தங்கு நிலையைக் காணும்பொழுது, தராசுப் பெட்டி மூடப்பட்டு இருக்கவேண்டும்.

5. நிறுக்கவேண்டிய பொருள்களை இடது தட்டிலும், படிக்கற்களை வலது தட்டிலும் இடுவதுதான் முறை. அதுதான் சவுகரியம்.

6. படிக்கற்களைக் கையினல் தொடக்கூடாது. சாமணத்தைக் கொண்டே கையாளவேண்டும். படிக் கற்களைப் பெட்டியில் அவைகளின் சரியான இடத்தில் வைக்கவேண்டும். மேஜையின்மேல் இவைகளைப் பரப்பிவைக்கக் கூடாது.

7. சூடான பொருள்களைத் தராசில் நிறுக்கக் கூடாது.

8. நிறுத்தவுடன், தராசைக் கட்டுப்படுத்தி, பெட்டியை மூட வேண்டும்.

சோதனை (6) :—

(*a*) தராசின் உணர்வுக் கூர்மையை, முறையே 0, 10, 20, 50, 100 கிராம் சுமை ஏற்றப்பட்டபோது காண்க.

(*b*) கொடுத்திருக்கும் பொருளின் நிறையை ஒரு மில்லிகிராம் வரை திருத்தமாகக் கண்டுபிடிக்க.

ஒரு தராசை உபயோகிக்குமுன் அதன் தங்குநிலையைக் கண்டு கொள்ளவேண்டும். அதாவது கைப்பிடியை வலது பக்கம் திருப்பினல் தராசு ஆடும் நிலையிலிருக்கும். அதன் முள்ளூசி D என்ற அளவியின் எல்லைக்குள் ஆடவேண்டும். தராசின் ஆட்டம் நின்றதும், முள்ளூசியின் வாசகத்தை அளவியில் காண்க. இவ்வாசகம்தான் தராசின் தங்குநிலை (Resting Point). ஆனல் தராசின் ஆட்டம் நிற்க அதிக நேரம் பிடிக்கும். இவ்விதம் தங்கு நிலையைக் காண்பது அனாவசியமான காலதாமதத்துக்கு இடமாகும். இத் தங்கு நிலையைத் தராசு ஆடும்

நிலையிலிருக்கும்போதே காணலாம். இம்முறை ஆட்ட முறை (**method of oscillations**) என்று சொல்லப்படும். இது பின்வருமாறு :—தராசை இலேசாக ஆடச்செய்து பெட்டியின் கதவை மூடவும். சில ஆட்டங்கள் ஆனபிறகு முள்ளூசியின் முனை, அளவிப் பிரிவுகளின் எல்லைக்குள் ஆடிக் கொண்டிருக்கும். இப்போது இடதுபுறத்திலும், வலதுபுறத்திலும், முள்ளூசி போய்த் திரும்பும் இடங்களைக் காண்க. அவைகளின் அளவி வாசகங்களைக் கவனிக்க. இத் திரும்புமிடங்கட்கு திரும்புநிலை (**turning points**) எனக் கூறலாம். அடுத்தடுத்துள்ள ஐந்து திரும்பு நிலைகளைக் காண்க. இடது புறத்தில் மூன்றும், வலது புறத்தில் இரண்டுமாகக் கண்டு குறிக்க. நேரமில்லாவிட்டால், இடது புறத்தில் இரண்டும், இவைகளுக்கு மத்தியிலுள்ள வலதுபுறத் திரும்புநிலையில் ஒன்றும் கண்டால் போதுமானது.

இடதுபுறத்திரும்புநிலைகளின் இடைமதிப்பையும் (a), வலதுபுறத் திரும்புநிலைகளின் இடைமதிப்பையும் (b) கூட்டி இரண்டால் வகுத்து வரும் ஈவுதான் தராசின் தங்குநிலை $\left(\frac{a+b}{2}\right)$. இப்பொழுது தராசின் தட்டுகளில் யாதொரு சுமையுமில்லாததால் இத் தங்கு நிலைக்குச் 'சூனியத்தங்குநிலை' என்று பெயர். இதுவரை எடுத்த வாசகங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு நிரலிட்டுக் காட்டவேண்டும் :—

உதாரணம் :

இடது திரும்பு நிலை.	வலது திரும்பு நிலை.
5·5	14
6·0	13
7·0	
இடை மதிப்பு (a) = 6·2.	இடை மதிப்பு (b) = 13·5.

தங்குநிலை

$$= \frac{a+b}{2}$$

$$= \frac{6{\cdot}2+13{\cdot}5}{2}$$

$$= 9{\cdot}9.$$

(a) தராசின் உணர்வுக் கூர்மை (Sensibility)

தராசின் 'சூனியத்தங்குநிலை' யை முதலில் காண்க. பிறகு வலது தட்டில் ஒரு செண்டிகிராமைப் போடுக. (0·01 **gm. or** 10 **m. gm.**) தராசை லேசாக ஆடச் செய்து தங்கு நிலையைக் காண்க. இது சூனியத் தங்கு நிலையைவிடக் குறைவாக இருக்கும். சூனியத் தங்கு நிலையை x என்றும், 10 மி. கிராம் வலது தட்டில் இருக்கும்போது தங்குநிலை y என்றும் வைத்துக்கொண்டால், இவற்றின் வேறுபாடு (**Shift in Resting point**) $x-y$ பிரிவுகள்.

ஆக, தங்குநிலை ஒரு பிரிவு நகர $\frac{10}{x-y}$ மி. கிராம் தேவை. இதுதான் தராசின் உணர்வுக்கூர்மை. தராசின் உணர்வுக்கூர்மை என்பது அதன் தங்குநிலை ஒரு பிரிவு நகருவதற்கு ஒரு தட்டில் மற்றொரு தட்டில் இருப்பதைவிட அதிகப்படியாக வைக்கவேண்டிய எடை. தட்டுகளில் வேறு சுமையில்லாததால், இது தராசின் உணர்வுக்கூர்மையாயிற்று. இவ்விதமே, சுமையுள்ள தராசின் உணர்வுக்கூர்மையைக் காண, ஒவ்வொரு தட்டிலும், ஒரு 10 கிராம் எடையை வைத்து அதன் தங்குநிலையைக் காண்க. அநேகமாக இத்தங்குநிலையும், சூனியத் தங்குநிலையும் ஒன்றாகவே இருக்கும். இரண்டு 10 கிராம் படிக்கற்களின் எடையில் மிக மிகச் சிறிய வித்தியாசம் (இருப்பதுண்டு) இருந்தால் இத்தங்குநிலை மாறும். சில வேளைகளில் முள்ளூசி அளவியின் வெளியில் போய் நின்றுவிடும். இவ்விதமிருப்பின், குறைந்த எடையுள்ள தட்டில் சிறிய கடிதத் துண்டுகளைப் போட்டுத் தங்குநிலையை அளவியின் மத்தியில் கொண்டுவர வேண்டும். இந்நிலையும், சூனியத் தங்குநிலையும் ஒன்றாக இருக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. இத்தங்குநிலையைக் கண்டபின் வலது தட்டில் ஒரு 10 மில்லிகிராம் எடையைப் போட்டு மறுபடியும் தங்குநிலையைக் காண்க. இவ்விரண்டு நிலைகளின் வேற்றுமையிலிருந்து 10 கிராம் சுமையுடன் கூடிய தராசின் உணவுக்கூர்மையைக் கணக்கிடுக. இது முன்கண்ட உணர்வுக்கூர்மையுடன் ஒன்றாக இராமல் சிறிது வேறுபட்டிருக்கலாம். இவ்விதமே தராசில் 20 கிராம், 50 கிராம், 100 கிராம் சுமையேற்றி முறையே தராசின் உணர்வுக்கூர்மையைக் காண்க. எடுத்த வாசகங்களைக் கீழ்கண்டவாறு நிரலிடுக :—

தராசில் ஏற்றப் பட்ட சுமை (கிராம்)	இடது திரும்பு நிலை	வலது திரும்பு நிலை	தங்கு நிலை x	வலது தட்டில் 10 மி. கிராம் சேர்த்தபிறகு			தங்கு நிலை மாறுபாடு $x-y$	உணர்வுக் கூர்மை $\frac{10}{x-y}$
				இடது திரும்பு நிலை	வலது திரும்பு நிலை	தங்கு நிலை y		
0	1 2 3	1 2		1 2 3	1 2			
10								
20								
50								
100								

(b) ஒரு பொருளின் நிறையை 1 மி. கிராம் (0·001 கிராம்) வரை திருத்தமாக அளவிடும் முறை :—

முதலில் தராசின் சூனியத் தங்குநிலையைக் குறித்துக்கொள்க. கொடுத்த பொருளை இடது தட்டில் வைத்து, வலது தட்டில் படிக்கற்களைப்போட்டு எடை கட்டவும். முதலில் அதிகமான எடையில் ஆரம்பித்து சரியான எடைகாணப் படிப்படியாகக் குறைத்துக்கொண்டே வருக. எடையை எடுக்கும்பொழுதும், வைக்கும்பொழுதும் கைப்பிடியை இடதுபக்கம் திருப்பி தராசைக் கட்டுப்பட்ட நிலைக்குக் கொண்டுவரவும். முள்ளூசி, அளவியின் எல்லைக்குள் ஆடும்பொழுது தராசின் தங்குநிலையைக் காண்க. இப்பொழுது வலது பக்கத்தில் 10 மி. கிராம் எடையைச் சேர்த்து அல்லது குறைத்துத் தங்குநிலையைக் காண்க. இவ்விரு தங்குநிலைகளும், சூனியத் தங்குநிலையைவிட ஒன்று குறைவாகவும் மற்றொன்று அதிகமாகவும் இருப்பது உத்தமம். இவற்றைக்கொண்டு பொருளின் சரியான நிறையை ஒரு மில்லி கிராம் திட்டத்திற்குக் கணக்கிடலாம்.

உதாரணம் :—

	சூனியத்தங்கு நிலை	= 9·5
1.	பொருள் இடது தட்டிலும் 39·56 கிராம் வலது தட்டிலும் வைத்துக் கண்ட தங்குநிலை	= 8·0
2.	வலது தட்டில் 39·55 கிராம் வைத்துக் கண்ட தங்கு நிலை	= 13·0

[இதிலிருந்து 39·56 கிராம், பொருளின் எடையைவிட அதிகமானதென்பதையும், 39·55 கிராம், பொருளின் எடையைவிடக் குறைவு என்பதையும் கவனிக்க.]

இவ்விரண்டில் முதலாவது தங்குநிலை சூனியத் தங்குநிலைக்குச் சமீபமாக இருக்கிறது. அதனால் பொருளின் எடை 39·56 கிராம் என்று சொல்லலாம். இந்த எடை ஒரு செ. கிராம் (0·01 கிராம்)

திருத்தத்தைத்தான் கொண்டது. ஒரு மில்லிகிராம்வரைச் சரியாகக் காணக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடுக:—

தங்குநிலைகளின் வேற்றுமை $= 13{\cdot}0 - 8{\cdot}0 = 5$ பிரிவுகள்.

இவ்வேற்றுமை 10 மி. கிராமி
னால் ஏற்பட்டது.

இந்த எடை ஏற்றப்பட்ட அந்தத் தராசின் உணர்வுக் கூர்மை $= \frac{10}{5}$.

தங்குநிலையை ஒரு பிரிவு நகரச் செய்ய வேண்டிய எடை $= \frac{10}{5}$ மி. கிராம்.

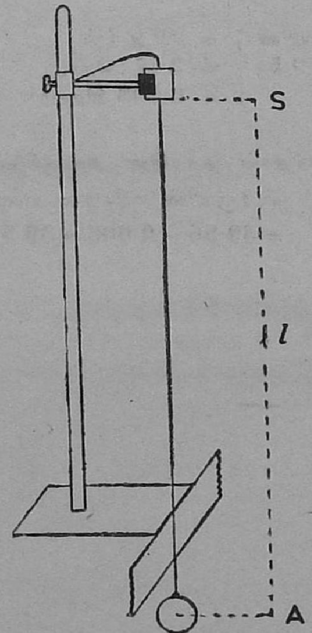
தங்குநிலையை 8·0-வது பிரிவிலிருந்து சூனியத் தங்குநிலைக்கு (9·5) நகரச்செய்ய வேண்டிய எடை $= \frac{10}{5} \times 1{\cdot}5$.
= 3 மி. கிராம்.
= 0·003 கிராம்.

0·003 கிராம் எடை குறைந்தால் தராசின் தங்குநிலை சூனியத் தங்குநிலையை அடையும். அதனால் பொருளின் சரியான எடை

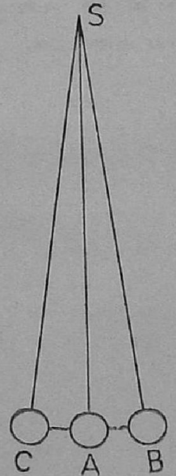
$= 39{\cdot}56 - 0{\cdot}003 = 39{\cdot}557$ கிராம்.

சாமானிய ஊசலி (Simple pendulum)

கனமுள்ள ஒரு சின்னத்தை, நீண்டு கொடுக்காமலும், துவண்டு கொடுக்கக்கூடியதுமான ஒரு மெல்லிய நூலினால் கட்டி, ஒரு கெட்டியான பிடியிலிருந்து தொங்கவிடுவதுதான் சாமானிய ஊசலி. ஆனால் அனுபவத்தில், இதைப் பெறமுடியாது. அனுபவத்தில், ஒரு மெல்லிய நூலினால் தொங்கவிடப்பட்ட கனமுள்ள ஒரு உலோக உருண்டையைச் சாமானிய ஊசலியாகக் கொள்ளவேண்டும். இந்த உலோக உருண்டை ‘குண்டு’ என்ப்படும். தொங்கவிடப்பட்ட புள்ளிக்கும் (S) குண்டின் மையத்திற்கும் (A) இடைப்பட்ட தூரமே (SA) ஊசலியின் நீளம்.



படம் 8



படம் 8(a)

குண்டின் மையத்தை ‘ஆட்ட மையம்’ (centre of oscillations) என்று சொல்லுவதுண்டு. ஊசலியின் நீளத்தைச் சுலபமாக, வேண்டிய அளவிற்கு மாற்றிக்கொள்ளும் பொருட்டு இதன் நூல் ஒரு பிளக்கப்பட்ட தக்கையினிடையில் இடப்பட்டு இறுகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கும். இந்தக்

குண்டைக் கொஞ்சம் வலது புறம் இழுத்துவிட்டால் ஊசலியானது ஒரே தளத்தில் ($A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow A$) வலமிருந்து இடம், இடமிருந்து வலமாக ஒரு வட்ட வில்லில் ஆடும். இவ்வாட்டம் நிற்பதற்கு வெகு நேரம் செல்லும். AB, AC என்ற பெயர்ச்சிகள் ஊசலியின் வீச்சு (amplitude) எனப்படும். இதன் தங்குநிலையின் (A) வழியாக அடுத்தடுத்து ஒரே திசையில் செல்லுவதற்கு இடைப்பட்ட இயக்கம் ஓர் ஆட்டம் (oscillation) எனப்படும். இக்குண்டு ஆட்ட வட்ட வில்லின் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியை அடுத்தடுத்து ஒரே திசையில் கடப்பதற்கு இடைப்பட்ட நேரம் இவ்வூசலியின் ஆட்டத்தின் 'பொழுது' (period) எனப்படும்.

சாமானிய ஊசலி ஆட்டத்தின் விதிகள் :—

1. ஒரே நீளத்தைக்கொண்ட ஊசலியின் வீச்சு குறைவான அளவுடையதாக இருந்தால், அதன் ஆட்டத்தின்பொழுது வீச்சின் அளவைச் சார்ந்திராது. அதாவது வீச்சின் அளவைக் கொஞ்சம் மாற்றினாலும் பொழுது மாறாது.

2. ஒரே நீளத்தைக்கொண்ட ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுது அதன் குண்டின் எடையையோ அல்லது உலோகத்தையோ சார்ந்திராது

அதாவது வெவ்வேறு எடையைக் கொண்டனவும், வெவ்வேறு உலோகங்களால் செய்யப்பட்டனவுமான குண்டுகளைக்கொண்ட ஒரே நீளமுள்ள பல ஊசலிகளை எடுத்துக்கொண்டால் அவைகளின் ஆட்டத்தின் பொழுது, மாறாமலிருப்பதைக் காணலாம். ஆனால் குண்டின் நிறை, தக்கை, கடிதம் இவைகளைப்போல் மிகவும் குறைவாக இருக்கக்கூடாது.

3. ஒரு ஊசலியின் ஆட்டத்தின் 'பொழுது' அதன் நீளத்தின் இருபடி மூலத்திற்கு [square root] நேர்தகவு பொருத்தமுடையதாக இருக்கும். [directly proportional]

அதாவது அதன் நீளத்தை மாற்றினால் ஆட்டத்தின் பொழுது $T \propto \sqrt{l}$ என்ற விதிப்படி மாறும். அதாவது, $T^2 \propto l$ அல்லது $\frac{l}{T^2}$ என்பது ஒரே மதிப்பைக் கொண்டதாக இருக்கும்.

ஒரு ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுதைக் கீழ்க்கண்ட வாய்ப்பாடு மூலமாய்க் காணலாம்.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

இதில் l ஊசலியின் நீளத்தையும், 'g'—அவ்விடத்தில் பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கத்தையும் குறிக்கும். ஊசலியின் நீளமும், அதன் ஆட்டத்தின் பொழுதும் தெரிந்தால் இவ்வாய்ப்பாட்டைக்கொண்டு அவ்விடத்தில் பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கத்தைக் காணலாம்.

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}.$$

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}.$$

சோதனை (7) :—

1. ஊசலி ஆட்டத்தின் விதிகளின் உண்மையைப் பரிசோதிக்க.

2. பரிசோதனை செய்யுமிடத்தில் பூமியின் கவர்ச்சி முடுக்கத்தைக் 'g' கண்டுபிடிக்க.

3. செகண்டு ஊசலியின் நீளத்தைக் காண்க.

ஊசலியின் நீளத்தை அளவிடும் முறை :—

குண்டின் விட்டத்தைக் காலிபரின் உதவியால் காண்க. தொங்க விடப்பட்ட புள்ளி (s)-யிலிருந்து (பிளக்கப்பட்ட தக்கையின் அடிப் பாகத்திலிருந்து) குண்டின் மேல்புறம் வரை நூலின் நீளத்தை அளந்து, அதனோடு குண்டின் விட்டத்தைச் சேர்த்து வந்த கூட்டுத்தொகைதான் ஊசலியின் நீளம்.

ஊசலியின் ஆட்டத்தின் "பொழுதை"-க் காணும் முறை :—

முதலில் ஊசலியின் நீளத்தைக் காண்க. ஊசலியை மேஜையின் ஓரமாக வெளிப்புறம் தொங்கவிட்டு, குண்டு மேஜை விளிம்பின்கீழ் தொங்கும்படி செய்க. இப்பொழுது குண்டுக்கு அடுத்து மேலே உள்ள நூல், மேஜை விளிம்பின் ஓரமாக அதைத் தொடாமல் இருக்கவேண்டும். ஊசலியின் தங்குநிலையைக் குறிக்க, மேஜை விளிம்பில் ஊசலி நூலின் எதிரிடையாக சாக்கட்டியால் ஒரு கோடு வரைக. ஊசலியின் எதிரே உட்கார்ந்துகொண்டு, ஊசலியை ஒரே தளத்தில் குறைந்த வீச்சுடன் ஆடச் செய்யவும். முதல் நாலைந்து ஆட்டங்களைக் கணக்கிடாமல் விட்டு விடுக. ஊசலி, அதன் தங்குநிலைவரையை வலப்புறம் கடக்கும்பொழுது (Stop clock) நிறுத்துக்கடியாரத்தை ஓடவிட்டு 0 என்று எண்ணுக. மறுபடி ஊசலி அடுத்தடுத்து அத்தங்குநிலையை இடமிருந்து வலம் கடக்கும் பொழுது, 1, 2, 3 என்று கணக்கிடுக. 50 என்று கணக்கிடும்பொழுது, கடியாரத்தை நிறுத்தி ஆன நேரத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்க. இந்த நேரம் 50 ஆட்டத்துக்குள்ள நேரம். இதில் 50-ல் ஒரு பாகம், ஊசலி

யின் ஆட்டத்தின்பொழுது T. இதைத் தவறு இல்லாமல் காண 50 ஆட்டங்களின் நேரத்தை 2, 3 தடவை கண்டு அவை சமமாக இருக்கின்றனவா என்று கவனிக்கவேண்டும். சற்று வித்தியாசப்பட்டால், அவைகளின் இடை மதிப்பைக் கண்டு (average) 50-தால் வகுத்து ஆட்டத்தின் பொழுதைக் கணக்கிடவேண்டும்.

விதி 1 :—

வீச்சு குறைந்த அளவுடன் இருக்கும் வரையில் ஒரே நீளத்தைக் கொண்ட ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுது அதன் வீச்சின் அளவைச் சார்ந்திருக்காது.

இதன் உண்மையைக் காண ஒரு ஊசலியை மேஜை விளிம்பின் ஓரம் தொங்கவிடுக. அதன் தங்குநிலையைக் குறித்துக்கொண்டு, குண்டைத் தங்குநிலையிலிருந்து 10 செ. மீ. வலப்பக்கம் இழுத்துவிடுக. இப்பொழுது இதன் வீச்சு அளவு 10 செ. மீ. என வைத்துக்கொள்ளலாம். மேற் குறித்தவாறு ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுதைக் காண்க. பிறகு ஊசலியை நிறுத்தி 7 செ. மீ. வீச்சுடன் ஆடச்செய்து அதன் பொழுதைக் காண்க. இதே விதம், 5 செ. மீ. வீச்சுடன் ஆடும்பொழுதும் அதன் ஆட்டத்தின் பொழுதைக் காண்க. இப்பொழுது ஊசலியின் நீளம் மாறவில்லை. கிடைத்த மூன்று பொழுதுகளின் மதிப்புகள் சமமாயிருப்பதைக் காண்க. ஊசலியின் வீச்சு கொஞ்சம் மாற்றப்பட்டாலும் அதன் ஆட்டத்தின் பொழுது மாறவில்லையென இதிலிருந்து தெரிகிறது. கிடைத்த வாசகங்களைக் கீழ்க்கண்டபடி நிரவிடுக :—

எண்ணிக்கை	வீச்சு செ. மீட்டர்	50 ஆட்டங்களின் நேரம் செகண்டுகள்			பொழுது T செகண்டுகள்
		1	2	இடை மதிப்பு	
1	10				
2	7				
3	5				

விதி 2:—

மாறாத நீளத்தைக்கொண்ட ஒரு ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுது, அதன் குண்டின் நிறையைச் சார்ந்திராது.

இவ்விதியை நிரூபிக்க பித்தளை, இரும்பு, காரீயம் இவைகளால் செய்யப்பட்ட வெவ்வேறு எடையுள்ள மூன்று குண்டுகளை எடுத்துக் கொள்க. ஒவ்வொன்றின் விட்டத்தைக் காண்க. முதற் குண்டை ஒரு நூலில் கட்டி தொங்கவிட்டு ஊசலியின் நீளத்தைக்கண்டுகொண்டு இதன் பொழுதைக் காண்க. பிறகு மற்ற இரண்டு குண்டுகளையும் ஒவ்வொன்றாகத் தொங்கவிட்டு நீளத்தை முன்னளவுக்கே வைத்து அவற்றின் பொழுதுகளைக் காண்க. இம்மூன்று பொழுதுகளும் சமமாக இருக்கும். அதனால் குண்டின் நிறை வேறுபட்டாலும், குண்டு வெவ்வேறு உலோகங்களால் செய்யப்பட்டாலும் நீளம் மாறாதிருந்தால் ஊசலியின் பொழுது மாறாது என்பது தெரியவரும். கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக:—

எண்ணிக்கை	குண்டின் விபரம்	50 ஆட்டங்களின் நேரம் செகண்டுகள்			பொழுது T செகண்டுகள்
		1	2	இடை மதிப்பு	
1	பித்தளை				
2	இரும்பு				
3	காரீயம்				

விதி 3:—

ஊசலியின் ஆட்டத்தின் பொழுது (T) அதன் நீளத்தின் இருபடி மூலத்திற்கு ($\sqrt{l}$) நேர் தகவு பொருந்தமுடையதாக இருக்கும்.

அதாவது

$$T \propto \sqrt{l}$$

$$T^2 \propto l$$

அல்லது $\frac{l}{T^2}$ ஒரு மாறிலி.

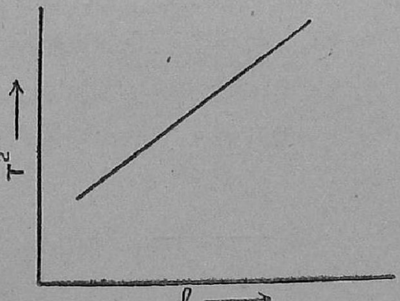
இதை நிரூபிக்க ஒரு ஊசலியைத் தொங்கவிட்டமைக்கவும். அதன் நீளத்தை 50 செ. மீ. ஆக்கி அதன் பொழுதைக் கண்டு குறிக்க. ஊசலியின் நீளத்தை முறையே 60, 70, 80, 90, 100, 110 செ. மீ. ஆக்கி

ஒவ்வொரு நீளத்துக்குமுள்ள அதன் ஆட்டத்தின் பொழுதைக் கண்டு, கீழ்க்கண்டவாறு நிரலிடுக :—

எண்ணிக்கை	நீளம் (l) செ.மீ.	50 ஆட்டங்களின் நேரம் (செகண்டுகள்)			பொழுது T செகண்டு கள்	T^2	l/T^2
		1	2	இடை மதிப்பு			
1	50						
2	60						
3	70						
4	80						
5	90						
6	100						
7	110						

l/T^2-ன் மதிப்பு மாறுமலிருப்பதைக் காண்க. அதனுல் $l \propto T^2$ அல்லது $\sqrt{l} \propto T$ என்பது விளங்குகிறது.

இவ்வுண்மையை மற்றொரு விதமாகக் காணலாம். l-ன் மதிப்புக்களைப் படுகை ஆயமாகவும் (**X-axis**), T^2-ன் மதிப்புக்களை நிலுவை ஆய



படம் 9

மாகவும் (**Y-axis**) கொண்ட ஒரு உருவகம் வரைந்தால் அது ஒரு நேர் கோடாக இருக்கும்.

2. 'g'-யின் மதிப்பைக் காண.

மேற்கண்ட நிரலீட்டிலிருந்து l/T^2-ன் பொதுமை மதிப்பைக் காண்க. இதைக் கீழ்க்கண்ட வாய்பாட்டில் உபயோகித்து 'g'-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக :—

$$g = 4\pi^2 \times \left(\frac{l}{T^2}\right)$$

3. செகண்டு ஊசலியின் நீளம் "L"-ஐக் காண.

இரண்டு செகண்டு பொழுதைக்கொண்ட ஊசலிக்கு, செகண்டு ஊசலி என்று பெயர்.

செகண்டு ஊசலிக்கு $T = 2$ செ.

$$T^2 = 4$$

இந்த ஊசலியின் நீளத்தை l/T^2 என்ற மாறிலியின் மதிப்பிலிருந்து கணக்கிடலாம். l/T^2-ன் மதிப்பு 24·8 என வைத்துக்கொள்ளுவோம். செகண்டு ஊசலியின் நீளம் 'L' என்றால்

$$\frac{L}{T^2} = \frac{L}{4} = 24{\cdot}8.$$

$$L = 4 \times 24{\cdot}8 = 99{\cdot}2 \text{ செ. மீ.}$$

இந்நீளத்தை $L - T^2$ உருவகப் படத்திலிருந்தும் காணலாம்.

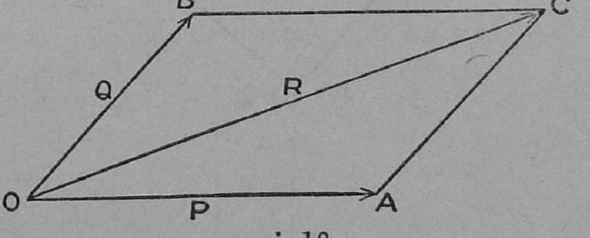
இவ்விதம் எந்த நீளத்தைக்கொண்ட ஊசலியின் பொழுதையும், எந்தப் பொழுதைக்கொண்ட ஊசலியின் நீளத்தையும் கண்டு தெரிந்து கொள்ளலாம்.

ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் தாக்குகள்

ஒரு தாக்கை (**Force**) அளவிலும், திசையிலும் ஒரே நேர்கோட்டால் குறிப்பிடலாம். ஒரு சிறிய பொருளின்மீது தொழிற்படும் தாக்கினால் அப்பொருள் ஒரே திசையில்தான் நகரும். அப்படி நகராவிட்டால் நகர யத்தனிக்கும். அப்பொருளின்மீது பல தாக்குகள் தொழிற்பட்டாலும், அப்பொருள் ஒரு நொடியில் (**at any instant**) ஒரே திசையில்தான் நகர யத்தனிக்கும். பல தாக்குகளினால் உண்டாகும் அப்பொருளின் இயக்கத்தை அளவிலும், திசையிலும் ஒரே தாக்கைக்கொண்டு உண்டாக்கலாம். இத்தாக்கு முன் குறித்த பல தாக்குகளின் "தொகுபயன்" (**Resultant**). இப்பொழுது அப்பொருளின்மீது இத்தொகுபயனுக்குச் சமமான அளவுள்ள மற்றொரு தாக்கு அதற்கு எதிரிடையாகத் தொழிற்பட்டால், இவ்விரண்டு தாக்குகளும் சேர்ந்து அப்பொருளைச் சமநிலையில் நிறுத்தும். அதாவது இத்தாக்கு, பல்வேறு தாக்குகளினால் ஏற்பட்ட அப்பொருளின் இயக்கத்தை அழித்துவிடும். இத்தாக்கு, அந்தப் பல்வேறு தாக்குகளின் 'எதிர்சமனி' யாகும் (**Equillibrant**). ஒரு பொருளின்மீது **P, Q, S, T** என்ற பல தாக்குகள் தொழிற்பட்டு அவற்றின் தொகுபயனை **R** என்றும், எதிர்ச்சமனியை **R′** என்றும் குறிப்பிட்டால், **R, R′** என்ற இரண்டும் சமமாகவும், எதிரிடையாகவுமுள்ள இரண்டு தாக்குகள்.

தாக்கு இணைகரம் விதி (Law of Parallelogram of forces) :—

ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் இரண்டு தாக்குகளை, அளவிலும், திசையிலும் ஒரு இணைகரத்தின் இரண்டு அண்டைக் கோடுகளால் குறிப்பிட்டால், இப்புள்ளி வழியே செல்லும் அவ்விணைகரத்தின் மூலைவரை, இவ்விரண்டு தாக்குகளின் தொகுபயனை (**Resultant**) அளவிலும் திசையிலும் குறிப்பிடும்.



படம் 10

இணைகரம் **OACB**-யில் (படம் 10) **OA, OB** என்ற அண்டைக் கோடுகள் **P, Q** என்னும் இரண்டு தாக்குகளைக் குறிப்பிட்டால், இதன் மூலைவரை **OC**, இவ்விரண்டு தாக்குகளின் 'தொகுபயனை' க் குறிப்பிடும்.

தாக்கு முக்கோணம் (Triangle of forces) :—

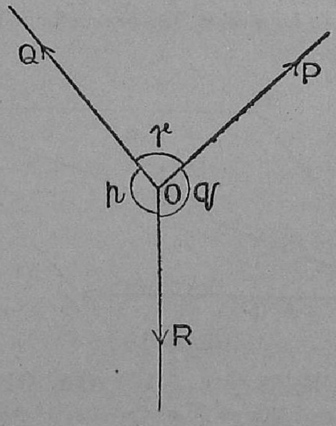
ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும், மூன்று தாக்குகளை அளவிலும், திசையிலும் ஒரு முக்கோணத்தின் மூன்று பக்கக்கோடுகளால் ஒரு வட்ட வரிசைக் கிரமத்தில் (in a cyclic order) குறிக்கக்கூடுமானால், அப் புள்ளியும், அதன்மீது தொழிற்படும் மூன்று தாக்குகளும் சமநிலையில் இருக்கும். இதன் தலை மாற்றுரை (converse) பின்வருமாறு :—ஒரு புள்ளியில் மூன்று தாக்குகள் தொழிற்பட்டு அதைச் சமநிலையில் நிறுத்தினால், இம்மூன்று தாக்குகளை அளவிலும் திசையிலும் ஒரு முக்கோணத்தின் பக்கக்கோடுகளால் ஒரு வட்ட வரிசைக் கிரமத்தில் குறிக்கலாம்.

இத்தலைமாற்று விதியைச் சோதனையால் நிரூபிப்பது எளிது.

லாமியின் தேற்றம் (Lami's Theorem) (படம் 11)

ஒரு புள்ளியின்மீது மூன்று தாக்குகள் தொழிற்பட்டு அதைச் சமநிலையில் நிறுத்தினால், இத்தாக்குகள் ஒவ்வொன்றும், மற்ற இரண்டின் இடைப்பட்ட கோணத்தின் நெடுக்கைக்கு (Sine of the angle) தகவுப் பொருத்தமுடையதாக இருக்கும்.

O *என்ற புள்ளியில் தொழிற்படும்* P, Q, R *என்ற மூன்று தாக்குகளும் சமநிலையிலிருந்தால்* $\dfrac{P}{\text{Sin } p} = \dfrac{Q}{\text{Sin } q} = \dfrac{R}{\text{Sin } r}$.

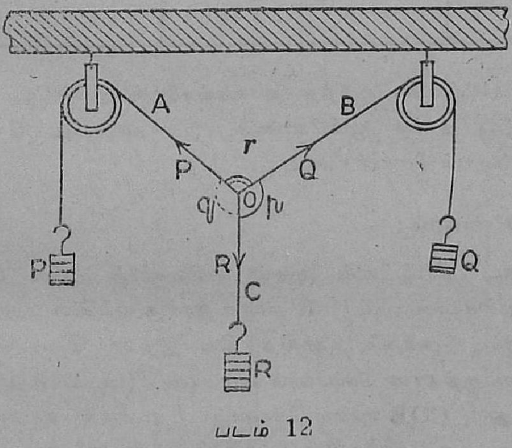


படம் 11

சோதனை 8 :—

(1) தாக்கு இணைகரம் (2) தாக்கு முக்கோணம் தலைமாற்றுரை (3) லாமியின் தேற்றம், இம்மூன்று விதிகளையும் பரிசோதனை செய்து நிரூபிக்கவும்.

இலேசான இரண்டு பிணர்வற்ற உருளைகளை, மட்டமாக உள்ள ஒரு நிலையான சட்டத்திலிருந்து தொங்கவிடவும் (படம் 12). AOB என்னும் நூலை இவ்விரு உருளைகளின் விளிம்புகளில் இட்டு, அதன் இரு முனைகளிலும் P, Q என்ற இரண்டு எடைகளைக் கட்டித் தொங்க விடவும்.



படம் 12

OC என்ற மற்றொரு நூல் துண்டை AOB-யில் O என்னும் இடத்தில் முடியிட்டு அதன் முனையில் R என்னும் எடையைத் தொங்கவிட்டு O என்ற புள்ளியைச் சமநிலையில் இருக்கச் செய்க. இப்பொழுது O என்ற புள்ளி, P, Q, R என்ற மூன்று தாக்குகள் முறையே OA, OB, OC என்ற திசைகளில் தொழிற்படுவதனல் சமநிலையில் இருக்கிறது. P, Q, R என்ற தாக்குகள் ஒவ்வொன்றின் மதிப்பையும், ஒரு கோண அளவியின் உதவியினல் இத்தாக்குகளினிடைப்பட்ட p, q, r என்ற கோணங்களையும் அளந்து குறிக்க. தாக்குகளை இரண்டு, மூன்று முறை மாற்றி ஒவ்வொரு முறையும் p, q, r என்ற கோணங்களை அளந்து கீழ்க் கண்டவாறு நிரலிடுக : தாக்குகளைக் கிராம் எடையிலேயே குறிக்கவும்.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	தாக்குகள் கிராம் எடை			கோணங்கள் டிகிரிகள்		
	P	Q	R	p	q	r
1						
2						
3						

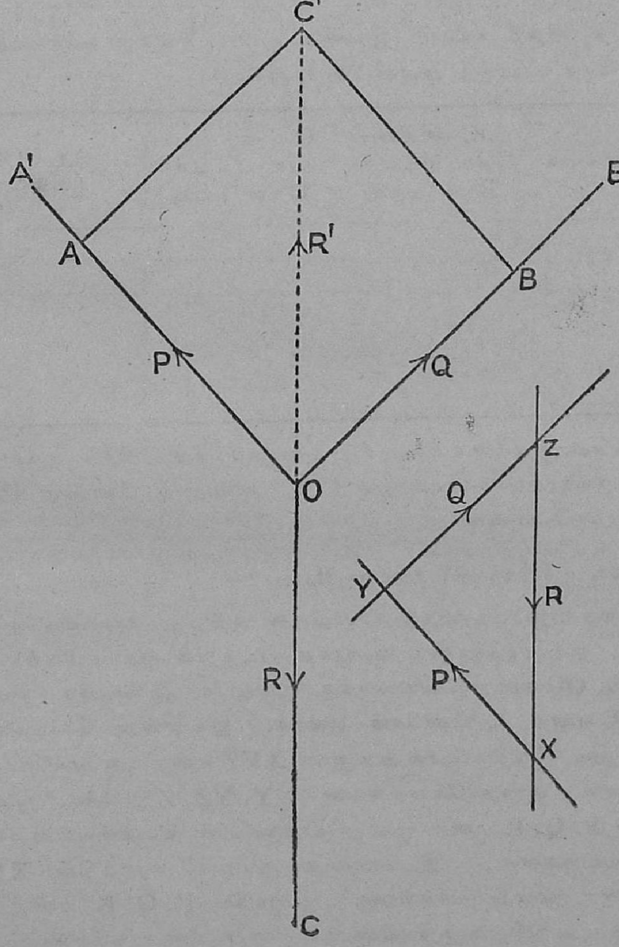
இந்த நிரலீட்டில் குறித்த வாசகங்களைக்கொண்டே (1) தாக்கு இணைகரம், (2) தாக்கு முக்கோணம், (3) லாமியின் தேற்றம் இம் மூன்று விதிகளையும் நிரூபிக்கலாம்.

1. தாக்கு இணைகரம் :—

மேற்கண்ட நிரலீட்டில் முதல் வரிசையில் உள்ள வாசகங்களை மட்டும் எடுத்துக்கொள்ளவும். R என்ற தாக்கு எப்பொழுதும் செங்குத்தான திசையில் இருக்கும். காகிதத்தில் இதன் திசையைக் குறிக்க OC என்ற செங்குத்தான நேர்கோடு வரையவும் (படம் 13·a). O என்ற புள்ளியிலிருந்து $\angle$COB என்ற கோணம் $\angle p$-க்குச் சமமாக இருக்கும்படி OB′ என்ற ஒரு நேர்கோடும், $\angle$COA என்ற கோணம் $\angle q$-க்குச் சமமாக இருக்கும்படி OA′ என்ற ஓர் நேர்கோடும் வரைக. இப்பொழுது வரைந்த OA′, OB′, OC என்ற மூன்று கோடுகளும் முறையே P, Q, R என்ற மூன்று தாக்குகளின் திசைகளைக் குறிக்கின்றன. ஏதாவது ஒரு பரிமாணத்தைக்கொண்டு OA, OB, OC என்ற கோடுகள் P, Q, R என்ற தாக்குகளை அளவிலும் குறிக்கும்படி A, B, C என்ற புள்ளிகளை அளந்து குறிக்க. A-யிலிருந்து OB-க்கு ஓர் இணைகர நேர்கோடும், B-யிலிருந்து OA-க்கு ஓர் இணைகர நேர்கோடும் வரைந்து அவைகளை C′ என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்க.

OAC′B என்பது OA, OB என்ற கோடுகளை அண்டைக் கோடுகளாகக்கொண்ட ஒரு இணைகரம். OC′ என்பது இவ்விணைகரத்தின்

O என்னும் புள்ளி வழியே செல்லும் மூலைவரை. OA, OB என்ற கோடுகள் குறிப்பிடும் P, Q என்ற தாக்குகளின் தொகுபயன் R′-ஐ OC′ என்ற மூலைவரை அளவிலும் திசையிலும் குறிக்கும். இதுவே தாக்கு



படம் 13 (*a*) (*b*)

இணைகரவிதி. ஆனால் R என்ற தாக்கு P, Q என்ற தாக்குகளின் எதிர்சமனி. அதனால் P, Q இவைகளின் தொகுபயன் R′, அவற்றின்

எதிர்சமனிக்கு (R)-ச் சமமாகவும், நேர் எதிரிடையாகவும் இருக்கவேண்டும். அதாவது அளவில் OC = OC′. திசையில் ∠COC′ = ∠180°. இதை அளந்து நிரூபித்தால் தாக்கு இணைகர விதியை நிரூபித்ததாகும். இவைகளை அளவிட்டுக் குறிக்க.

இதே விதம் மற்றும் இரண்டு முறை எடுத்த வாசகங்களுக்கும் இணைகரங்கள் வரைந்து அளவிட்டு நிரலிடுக :—

எண்ணிக்கை	OC-ன் நீளம் (செ. மீட்டர்) R-ன் அளவு	OC′-ன் நீளம் (செ. மீட்டர்) R′-ன் அளவு	∠COC′ (டிகிரிகள்)
1			
2			
3			

ஒவ்வொரு வரிசையிலும் OC என்னும் நீளம், OC′-க்குச் சமமாகவும், இம்மூன்று வரிசைகளிலும் COC′ என்னும் கோணம் 180°-யாக இருப்பதையும் காண்க.

2. தாக்கு முக்கோணம் நிலைமாற்றுரை :—

இதை நிரூபிக்க முதல் நிரலீட்டில் குறித்த வாசகங்களே போதுமானது. இதைக்கொண்டு வரைந்த படத்தின் (படம் 13-*b*) அருகில் **OA, OB, OC** என்ற கோடுகளுக்கு முறையே இணையாக உள்ள **XY, YZ, ZX** என்ற நேர்கோடுகள் வரைக. இம்மூன்று கோடுகளை இரு பக்கத்திலும் நீட்டிவிட்டால் அவைகள் **XYZ** என்ற ஒரு முக்கோணத்தை அடைக்கும். இம்முக்கோணத்தின் XY, YZ, ZX என்ற மூன்று பக்கங்களும் **P, Q, R** என்ற மூன்று தாக்குகளின் திசையைக் குறிக்கும்படி வரையப்பட்டுள்ளன. இப்பொழுது இம்முக்கோணத்தின் **XY, YZ, ZX** என்ற மூன்று பக்கங்களும் முறையே **P, Q, R** என்ற மூன்று தாக்குகளை அளவிலும் குறிக்கின்றன என்று நிரூபிக்கவேண்டும். அதாவது, $\frac{P}{XY} = \frac{Q}{YZ} = \frac{R}{ZX}$ எனக் காண்பிக்கவேண்டும். **XY, YZ, ZX** என்ற பக்கங்களை அளந்து இதை நிரூபிக்க. இதே விதம் மற்ற இரண்டு முறை கிடைத்த வாசகங்களுக்கும் முக்கோணங்கள் வரைந்து

ஒவ்வொரு முறையும் **XY, YZ, ZX** என்ற பக்கங்களை அளந்து நிரலிடுக :—

எண்ணிக்கை	தாக்குகள் (கிராம் எடை)			XY செ.மீ.	YZ செ.மீ.	ZX செ.மீ.	$\frac{P}{XY}$	$\frac{Q}{YZ}$	$\frac{R}{ZX}$
	P	Q	R						
1.									
2.									
3.									

ஒவ்வொரு வரிசையிலும் $\frac{P}{XY} = \frac{Q}{YZ} = \frac{R}{ZX}$ என்பதைக் காண்க.

XYZ என்ற முக்கோணத்தின் பக்கங்கள் **P, Q, R** என்ற தாக்குகளை அளவிலும், திசையிலும் குறிக்கின்றன.

3. லாமியின் தேற்றம் :—

முதல் நிரலீட்டில் கண்ட வாசகங்களைக்கொண்டே, கீழ்க்கண்ட நிரலீட்டைப் பூர்த்தி செய்க :—

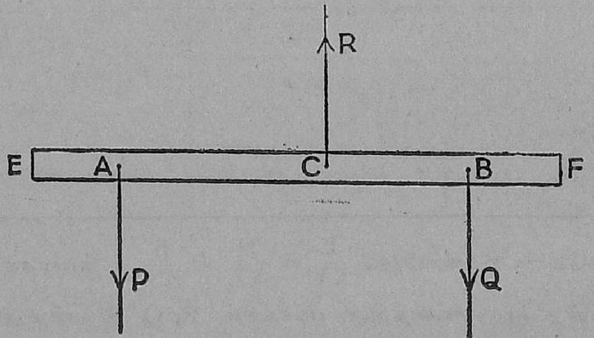
எண்ணிக்கை	தாக்குகள் கிராம் எடை			கோணங்கள் டிகிரிகள்			கோண நெடுக்கை			$\frac{P}{\text{Sin } p}$	$\frac{Q}{\text{Sin } q}$	$\frac{R}{\text{Sin } r}$
	P	Q	R	p	q	r	Sin p	Sin q	Sin r			
1.												
2.												
3.												

ஒவ்வொரு முறையும் $\frac{P}{\text{Sin } p} = \frac{Q}{\text{Sin } q} = \frac{R}{\text{Sin } r}$ என்பன சமமாக இருப்பதைக் காட்டுக. இதுவே லாமியின் தேற்றம்.

6

இணைத்தாக்குகள் (Parallel Forces)

E F என்ற ஒரு விறைப்புப் பொருளின்மீது (**Rigid body**) **P, Q, R** என்ற இணைத்தாக்குகள் (படம் 14) **A, B, C** என்ற புள்ளிகளில் தொழிற்படுகின்றன.



படம் 14

இவைகளில் **P, Q** என்ற இரண்டும் ஒரே திசையில் தொழிற்படுவதினால் இவைகளை ஒரு போக்குத் தாக்குகள் எனவும் (**Like parallel forces**) ; **P, R** என்பன, எதிர்த்திசைகளில் தொழிற்படுவதனால் இவைகளை எதிர் இணைத்தாக்குகள் (**unlike parallel forces**) என்றும் சொல்வர். இம்மூன்று தாக்குகளும் ஒரே தளத்தில் தொழிற்பட்டால் இவைகள் ஒரு தள இணைதாக்குகளாகும் (**coplanar parallel forces**).

ஒரு விறைப்புப் பொருளின்மீது தொழிற்படும் இரண்டு இணைத் தாக்குகளின் தொகுபயன் :—

E F என்ற ஓர் விறைப்புப் பொருளின்மீது **P, Q, R** என்ற மூன்று இணைத்தாக்குகள், **A, B, C** என்னும் புள்ளிகளில் தொழிற்பட்டு அப்பொருளைச் சமநிலையில் நிற்கச் செய்தால், **R** என்னும் தாக்கு, **P, Q** என்னும் தாக்குகளின் எதிர்சமனி. இவ்விரண்டின் தொகுபயன் **R**-க்குச் சமமாகவுள்ள ஒரு தாக்கு. இது தொழிற்படும் திசை **R**-க்கு எதிரிடையாக உள்ளது. இத்தொகுபயன், **P, Q** என்ற தாக்குகளின் திசையிலேயே தொழிற்படும். இது $P + Q$ என்னும் அளவைக்கொண்டது. இத்தொகுபயன் **C** என்னும் புள்ளியில் தொழிற்பட்டால், $P \times AC = Q \times BC$ எனக் காட்டலாம். இதைக்கொண்டு **C** என்னும் புள்ளியின் நிலையைக் காணலாம்.

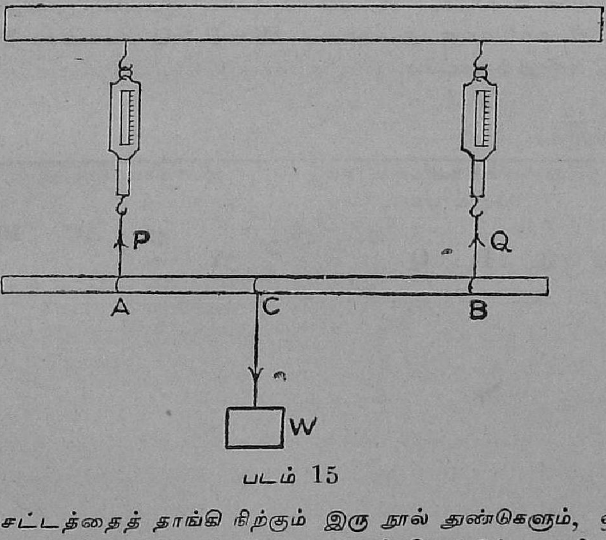
P, R என்னும் இரண்டு எதிரிணைத்தாக்குகளை எடுத்துக்கொண்டால், Q என்பது இவைகளின் எதிர்சமனி. இதே அளவைக்கொண்டதும், இதற்கு எதிரிடையாக உள்ளதுமான ஒரு தாக்கே இவ்விரண்டு எதிரிணைத் தாக்குகளின் தொகுபயன். இதன் அளவு (R ∽ P) எனவும் $P \times AB = R \times CB$ எனவும் நிரூபிக்கலாம். P, R என்ற இரண்டில் R அதிக அளவைக் கொண்டதானால் இவைகளின் தொகுபயன் R-ன் திசையில் தொழிற்படும். இவற்றின் எதிர்சமனி, இத்திசைக்கு எதிரிடையாகத் தொழிற்படும். இதன் அளவு R − P யாகும்.

சோதனை 9 :—

மேலே சொன்ன கோட்பாடுகளைப் பரிசோதனையால் சரி பார்க்கவும் :—

1. ஒரு போக்குத் தாக்குகள் :—

இரண்டு நிறைமானிகளை (**spring balance**) இரு கொக்கிகளில் மாட்டித் தொங்கவிடவும். அவற்றின் அடியில் உள்ள கொக்கிகளிலிருந்து இரு நூல் துண்டின் உதவியால் சுளுக்கிட்டு ஒரு மீட்டர் அளவிச்சட்டத்தைத் தொங்கவிடவும். (படம் 15)



படம் 15

இச்சட்டத்தைத் தாங்கி நிற்கும் இரு நூல் துண்டுகளும், ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்திராமல் செங்குத்தாக இருக்கவேண்டும். தவிர இவற்றின் நீளங்களை வேண்டிய அளவுக்கு மாற்றி மீட்டர் அளவியைப் படுகை மட்டத்தில் (**Horizontal**) இருக்கச் செய்க. இப்பொழுது இந்த நிலை

மானிகளின் P_0, Q_0 என்னும் வாசகங்களை வாசித்துக் குறித்துக் கொள்க. P_0, Q_0 என்ற இரண்டும், அளவிச்சட்டத்தில் A, B என்ற புள்ளிகளில் செங்குத்தாக மேல்நோக்கித் தொழிற்படும் இரண்டு இணைத்தாக்குகள். இவ்விரண்டு தாக்குகளும் அளவிச்சட்டத்தின் எடையைத் தாங்கி நிற்கின்றன. A, B என்ற புள்ளிகளுக்கிடையில் W என்ற ஒரு எடையை ஒரு நூலினால் அளவிச்சட்டத்திலிருந்து தொங்கவிடவும். இதன் தொழிற்படுபுள்ளி C-ஐ A B என்னுமிடைத்தூரத்தில் இங்கு மங்கு நகர்த்தி, அளவிச்சட்டத்தைப் படுகை மட்டத்திலிருக்கச் செய்க, நிறைமானிகளின் P_1 Q_1 என்ற வாசகங்களை மறுபடியும் குறித்துக் கொள்க.

P_1, Q_1 என்ற தாக்குகள், அளவிச்சட்டத்தின் எடை, W என்ற எடை, இவ்விரண்டையும் தாங்கி நிற்கின்றன. அதனால் W-வை மாத்திரம் தாங்கி நிற்பது, $P_1 - P_0 = P$; $Q_1 - Q_0 = Q$ என்ற இரண்டு தாக்குகளேயாகும். இவ்விரண்டு தாக்குகளின் எதிர்சமனி W. அதாவது, $W = P + Q$. தவிர, P, Q, W என்ற இத்தாக்குகளின் தொழிற்படு புள்ளிகளின் AC, BC என்ற இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிச்சட்டத்தில் வாசித்துக் கணக்கிட்டு குறிக்க. இதைக்கொண்டு $P \times AC = Q \times BC$ என நிரூபிக்க. W-வின் மதிப்பை இரண்டு மூன்று தடவைகள் மாற்றி, ஒவ்வொரு தடவையும் $W = P + Q$ என்றும், $P \times AC = Q \times BC$ என்றும் காட்டுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	நிறைமானிகளின் வாசகம் கிராம் எடை						கிராம் எடையில்		AC	BC	$P \times AC$	$Q \times BC$
	P_0	Q_0	P_1	Q_1	$P_1 - P_0 = P$	$Q_1 - Q_0 = Q$	W	$P+Q$	செ. மீ.	செ. மீ.		
1.												
2.												
3.												

2. எதிரிணைத் தாக்குகள் :—

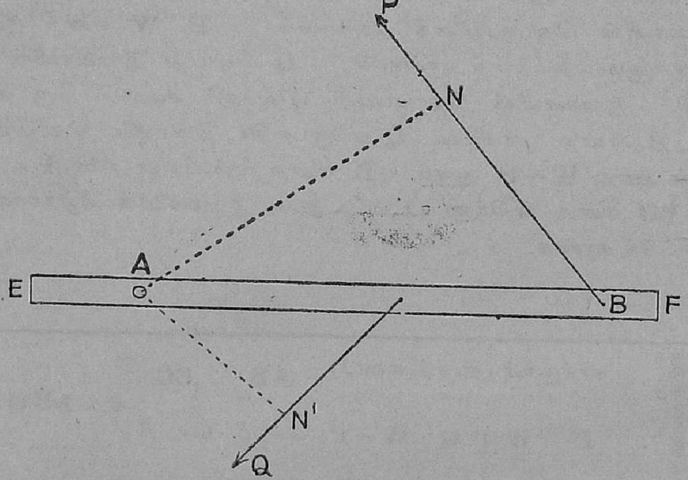
மேலே எடுத்த வாசகங்களைக்கொண்டே, இரண்டு எதிரிணைத் தாக்குகளின் தொகுபயனைக் காணலாம். P, W என்ற இரண்டு தாக்குகளும் எதிரிணைத் தாக்குகள். Q என்பது இவைகளின் எதிர் சமனி. இவைகளின் தொகுபயன் Q-வுக்குச் சமமான ஒரு தாக்கு. இது B என்ற புள்ளியில் Q-வுக்கு எதிர் திசையில் தொழிற்படும். இதன் அளவு W − P ஆகும். B என்ற புள்ளியின் நிலை P × AP = W × BC என்ற விதிக்கு உட்பட்டது. இவைகளைக் கீழ்க்கண்டபடி நிரலிட்டுக் காண்க.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	தாக்குகள் (கிராம் எடை)				AB	BC	P × AB	Q × BC
	P	W	Q	W − P	செ. மீ	செ. மீ		
1.								
2.								
3.								

ஒவ்வொரு வரிசையிலும் Q = W − P ; P × AB = Q × BC என இருப்பதைக் காண்க.

ஒரு தாக்கின் நெம்புத்திறன் (Moment of a force) :—



படம் 16

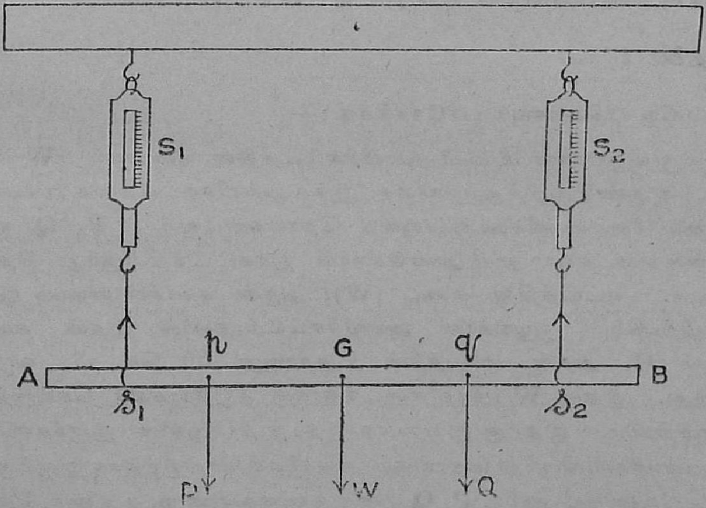
E F என்ற ஒரு சட்டம் (படம் 16) அதிலுள்ள **A** என்னும் துவாரத்தினுள் கோர்த்திருக்கும் இருசைச்சுற்றி சுழலக்கூடியதாக வைத்துக்கொள்வோம். அச்சட்டத்தில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளி வழியாக **P** என்ற தாக்கு தொழிற்பட்டால் இது அச்சட்டத்தை **A** என்னும் புள்ளியை மையமாக வைத்து சுழலச் செய்யும், அல்லது சுற்ற யத்தனிக்கும். அதாவது **P** என்ற தாக்குக்கு இச்சட்டத்தை **A** என்ற புள்ளியைச் சுற்றி சுற்றக்கூடிய திறன் உண்டு. இத்திறனுக்கு நெம்புத்திறன் என்று பெயர். அதன் அளவு, தாக்கு **P**-யின் அளவை, **A**-யிலிருந்து **P**-யின் தொழிற்படு கோட்டிற்கு (**Line of action**) இடைப்பட்டக் குத்துக்கோடு தூரத்தால் (**Perpendicular distance**) பெருக்கிவரும் தொகையே ஆகும். அதாவது $P \times AN$. **A** என்ற புள்ளியைச் சுற்றி **P**-யின் நெம்புத்திறன், **AN** என்ற தூரத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. **AN** அதிகமானல் இதன் நெம்புத்திறன் அதிகமாகும். **P**-யின் தொழிற்படு கோடு **A** வழியே செல்லுமானல் $AN = 0$. ஆகையால் $P \times AN = 0$. **P**-யின் நெம்புத்திறன் சூனியமாகும். அதாவது, ஒரு தாக்கின் தொழிற்படு கோட்டில் உள்ள ஒரு புள்ளியைச்சுற்றி அதன் நெம்புத்திறன் சூனியமாகும்.

நெம்புத்திறனின் திசை :—

படத்தில் (படம் 16) **P** என்னும் தாக்கு **E F** என்ற சட்டத்தை **A**-யைச்சுற்றி இடமாக அல்லது இடஞ்சுழியாகச் **(anti clockwise)** சுற்றும். **A** என்ற புள்ளி **B**-க்கு வலப்புறம் இருந்தால், **P**-யின் நெம்புத்திறன் வலஞ்சுழியாகும் **(clockwise)**. **A**-ஐச் சுற்றி தாக்கு **Q**-வின் நெம்புத்திறன் வலமாக உள்ளது. இடஞ்சுழியாக உள்ள **(anti clockwise moment)** நெம்புத்திறனை மிகைக் குறியாலும் **(Positive sign)** வலஞ்சுழியாக உள்ள நெம்புத்திறனை குறைக்குறியாலும் **(negative sign)** குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

பல ஒரு தள இணைத்தாக்குகள் ஒரு விறைப்புப் பொருளின்மீது தொழிற்பட்டு அப்பொருளைச் சமநிலையில் நிறுத்துவதற்குரிய விதிகள்.

ஒரு பொருள் சமநிலையில் இருந்தால் அதற்கு இடப்பெயர்ச்சி இயக்கமோ அல்லது எவ்வித சுழற்சி இயக்கமோ இராது.



படம் 17

AB என்ற ஒரு விறைப்புப்பொருளின்மீது s_1, s_2, p, q, **G** என்னும் புள்ளிகளின் வழியே முறையே S_1, S_2, **P**, **Q**, **W** என்ற ஒரு தள இணைத்தாக்குகள் தொழிற்பட்டு **AB**-ஐச் சமநிலையில் நிறுத்துவதாகக் கருதுவோம் (படம் 17).

விதி 1:—

AB-க்கு இடப்பெயர்ச்சி இயக்கமில்லை. ஆகையால் இந்த எல்லா இணைத்தாக்குகளின் தொகுபயன் சூனியமாகும். அல்லது $S_1 + S_2 = P + Q + W$ ஆகும்.

விதி 2:—

AB-க்கு அதில் எப்புள்ளியைச் சுற்றியும் சுழற்சி இயக்கமில்லை. அதாவது, அதில் எப்புள்ளியைச் சுற்றியும் இத்தாக்குகளின் நெம்புத் திறன்களை அவற்றிற்குரிய மிகை அல்லது குறைக்குறியுடன் கூட்டினால், அக்கூட்டுத்தொகை சூனியமாகும். அல்லது மிகைக் குறியுள்ள நெம்புத் திறன்களின் கூட்டுத்தொகை, குறைக் குறியையுடைய நெம்புத்திறன் களின் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாகும்.

A என்னும் புள்ளியைச்சுற்றி நெம்புத்திறனைக் கணக்கிட்டால்
$S_1 \times A\,s_1 + S_2 \times A\,s_2 - P \times A\,p - Q \times A\,q - W \times AG = 0.$

சோதனை 10:—

இவ்விரு விதிகளையும் பரிசோதிக்க:—

ஒரு ஒழுங்கான மீட்டர் அளவிச்சட்டத்தின் எடையை (W கிராம் எடை)-க் கண்டு குறித்துக்கொள்க. இந்த அளவிச்சட்டத்தை (படம் 17) இரண்டு நிறைமானிகளைக்கொண்டு தொங்கவிடவும். P, Q என்ற இரண்டு எடைகளை நூல் துண்டுகளால் இச்சட்டத்திலிருந்து தொங்க விடவும். சட்டத்தின் எடை (W), அதன் கவர்ச்சி மையம் G-யில் தொழிற்படும். ஒழுங்கான அளவிச்சட்டமாதலால் இதன் கவர்ச்சி மையம் G, அதன் மையத்தில் (அதாவது 50 செ. மீ. வழியே) உள்ளது. இதன் W என்ற எடைத்தாக்கு கீழ்நோக்கிச் செங்குத்தாக தொழிற்படும். இதற்கு இணையாக இதரத் தாக்குகளை இருக்கச்செய்ய நிறைமானிகளிலிருந்து தொங்கும் நூல்களைச் செங்குத்தாக இருக்கும்படி செய்யவேண்டும். தவிர, P, Q என்ற தாக்குகளின் p, q என்ற தொழிற் படு புள்ளிகளை அச்சட்டத்தில் சரியான திசையில் வேண்டிய அளவிற்கு நகர்த்தி, சட்டத்தைப் படுகை மட்டமாக இருக்கச் செய்க. இவ்விதம் மட்டமாக இருக்கும்போது சட்டத்தின் இருமுனைகளும், மேஜையின் மேல் பரப்பிலிருந்து ஒரே உயரத்தில் இருக்கும். மட்டமாக இருப்பதை ஒரு சாராய மட்டத்தைக்கொண்டும் பார்க்கலாம்.

நிறைமானிகளின் S_1, S_2 என்ற வாசகங்களையும், **P, Q, W** என்ற தாக்குகளின் அளவுகளையும் கிராம் எடையில் கண்டு குறிக்கவும். s_1, s_2, p, q, G என்ற தொழிற்படு புள்ளிகளின் வாசகங்களை அளவிச் சட்டத்திலிருந்து கண்டு குறிக்கவும். எடைகளையும், அவை தொழிற்படும் புள்ளிகளையும் மாற்றி பலமுறை இவ்வாசகங்களைக் கண்டு நிரலிடுக. S_1, S_2 என்பன மேல்நோக்கி தொழிற்படும் தாக்குகள். **P, Q, W** என்பன கீழ்நோக்கி தொழிற்படும் தாக்குகள். இச்சட்டம் சமநிலையில் இருப்ப தால், அதாவது இடப்பெயர்ச்சி இல்லாமலிருப்பதால் $S_1 + S_2 = P + Q + W$ என இருக்கவேண்டும். இதை நிரலீட்டில் கணக்கிட்டு ஒத்துப்பார்க்கவும் :—

நிரலீடு :--

எண்ணிக்கை	மேல்நோக்கி தொழிற்படும் தாக்குகள் (கிராம் எடை)			கீழ்நோக்கி தொழிற்படும் தாக்குகள் (கிராம் எடை)			
	S_1	S_2	S_1+S_2	P	Q	W	P+Q+W
1.							
2.							
3.							

விதி 2 :—

இச்சட்டம் சமநிலையில் இருப்பதால் இதற்கு எவ்வித சுழற்சி இயக்கமும் கிடையாது. அச்சட்டத்தில் எதாவது ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்க. உதாரணமாக **A** என்னும் புள்ளியை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். **A**-யிலிருந்து ஒவ்வொரு தாக்கின் தொழிற்படு புள்ளி யின் தூரத்தைக் கண்டு, புள்ளி **A**-ஐச் சுற்றி ஒவ்வொரு தாக்கின் நெம் புத்திறனைக் கணக்கிடுவோம். அவற்றில் வலஞ்சுழியாக உள்ளவைகளின்

கூட்டுத்தொகையையும், இடஞ்சுழியாக உள்ள நெம்புத்திறன்களின் கூட்டுத்தொகையையும் கணக்கிடுவோம். இவ்விரண்டும் ஒரே மதிப்பை உடையனவாய் இருக்கும்.

நெம்புத்திறனைக் கணக்கிடும் முறை:

A-ஐச் சுற்றி (படம் 17)

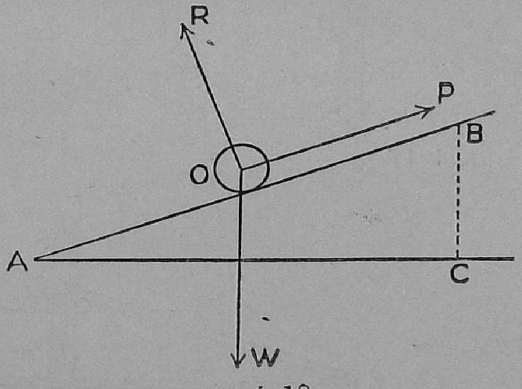
இடமாக உள்ளன	வலமாக உள்ளன
(Anti clockwise)	(Clockwise)
[+ *ve*]	[− *ve*]
$S_1 \times A\,s_1$	$P \times A\,p$
$S_2 \times A\,s_2$	$Q \times A\,q$
	$W \times AG$
$S_1 \times A\,s_1 + S_2 \times A\,s_2$	$P \times A\,p + Q \times A\,q + W \times AG$

இவ்விரண்டு கூட்டுத்தொகைகளும் இச்சோதனைக்குரிய பிழைகளுக்குட்பட்டு ஒரே மதிப்புடன் உள்ளவை எனக் காணலாம். இவ்விதியின் உண்மையை அச்சட்டத்தில் எப்புள்ளியைச் சுற்றிலும் கணக்கிட்டுக் காணலாம்.

சாய்வு மட்டம் (Inclined plane)

சாய்வு மட்டம் என்பது ஒரு எளிய எந்திரம். இதனால் கனமான பொருள்களை கீழிருந்து உயரமான இடங்களுக்கு சுலபமாக ஏற்றலாம். இது ஒரு சாய்ந்த தளம். கனமான பொருள் ஒன்றைக் கீழிருந்து மேலேற்ற அதை ஒரு சாய்ந்த தளத்திலிட்டு ஒரு கயிற்றினால் கட்டி தளத்துக்கு இணையாக **P** என்னும் தாக்கைக்கொண்டு இழுக்கவேண்டும். பொருளின் எடை **W** என்றால் இதன் ஒரு பாகத்தை சாய்வு மட்டத்தின் ' எதிர்வினை ' (**Reaction R**) தாங்கிவிடும். ஆகையால் இப்பொருளை எளிதாக **P** என்னும் குறைவான தாக்கைக்கொண்டு மேலேற்றிவிடலாம். இழுக்கும் தாக்கு **P** என்பது, இழுக்கப்படும் தாக்கு **W**-வைவிடச் சிறியது. இப்பொருள் தளத்தின்மீது சமநிலையிலிருக்கும்படி **P** என்ற தாக்கை அமைத்தால் $\frac{W}{P}$ என்பது இதன் ' எந்திரப்பயன் ' (**Mechanical advantage**). **P** எப்பொழுதும் **W**-வைவிட குறைவாதலால் $W/P > 1$.

இந்த எந்திரப்பயன் தளத்தின் சாய்வையும், **P** என்னும் தாக்கின் திசையையும் பொருத்திருக்கும். **P** என்ற இழுக்கும் தாக்கு தளத்துக்கு இணையாக இருக்கலாம், அல்லது மட்டமாக (**Horizontal**) வும் இருக்கலாம்.



படம் 18

(1) **P** சாய்வு மட்டத்திற்கு இணையாக இருந்து (படம் 18) பொருளை சமநிலையில் நிறுத்தினால் **W/P** என்ற எந்திரப்பயன் $\frac{AB}{BC}$ என நிரூபிக்கலாம். இங்கு **AB** என்பது **P**-யின் தொழிற்படு புள்ளி **O**

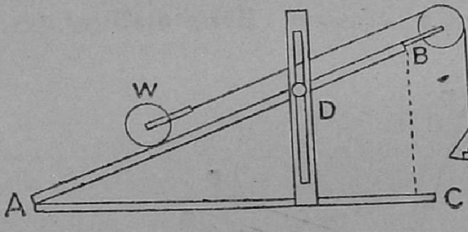
சாய்வு மட்டத்தின்மீது நகர்ந்த தூரம்; BC என்பது பொருள் ஏறின உயரம். BAC என்ற கோணம் α என்றால், இதன் எந்திரப்பயன் $\frac{AB}{BC}$ அல்லது $\frac{1}{\sin \alpha}$ $\left(\frac{1}{\text{நெடுக்கை } \alpha}\right)$.

(2) P என்னும் தாக்கு மட்டமாக (**Horizontal**) இருந்து பொருளை சமநிலையில் நிறுத்தினால் W/P என்ற எந்திரப்பயன் $\frac{AC}{BC}$ என நிரூபிக்கலாம். இங்கும் AC என்பது P-யின் தொழிற்படு புள்ளி, அது தொழிற்படும் திசையில் நகர்ந்த தூரம். BC என்பது கனமான பொருள் ஏறின உயரம். இதன் எந்திரப்பயன் $\frac{AC}{BC}$ அல்லது $\frac{1}{\tan \alpha}$ $\left(\frac{1}{\text{இருக்கை } \alpha}\right)$.

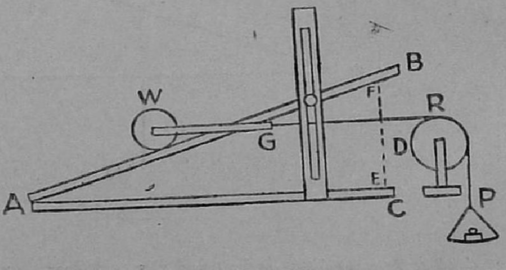
P தளத்துக்கு இணையாகத் தொழிற்படும்பொழுது $\frac{W}{P} = \frac{AB}{BC}$ என்றும், P மட்டமாக தொழிற்படும்பொழுது $\frac{W}{P} = \frac{AC}{BC}$ என்றும் சோதனை மூலம் நிரூபிக்கலாம்.

இந்தத் தத்துவங்களைப் பரிசோதித்துப் பார்க்க :—

சோதனைக்கு உபயோகப்படும் சாமானிய சாய்வு மட்டத்தை படத்தில் பார்க்கவும். (படம் 19)



படம் 19-(a)



படம் 19-(b)

AC, AB என்ற இரண்டு துவளாத பலகைத் துண்டுகள் (படம் 19a) A என்ற இடத்தில் கீலினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. AC என்ற பீடப்பல

கையை மேஜையின்மேல் வைத்து AB என்ற பலகையை சற்று உயரத் தூக்கி D என்ற செங்குத்தான தாங்குத் தூணினால், AB-யின் சாய்வை நமக்கு வேண்டிய அளவுக்கு வைத்து நிறுத்தலாம். சோதனைக்கு இந்தச் சாய்வு மட்டத்துடன் உபயோகிக்கப்படும் பொருள் ஒரு கனமான பித்தளை உருட்டு. இது மிகவும் சுலபமாக உருளக்கூடியது. AB-யின் உச்சியில் பிணர்வற்ற ஒரு உருளை (Pulley) பொருத்தப்பட்டிருக்கும். சில கருவிகளில் AB-யின் மத்தியில் ஒரு நீண்ட துவாரமிருக்கும். பிணர்வில்லாமல் உருளை இந்தச் சாய்வு மட்டத்தின்மேல் ஏறுவதற்காக, AC-யின் மேல்பரப்பில் ஒரு கண்ணாடிப் பலகை பொருத்தப்பட்டிருக்கும்.

(1) P என்ற இழுக்கும் தாக்கு AB என்ற தளத்திற்கு இணையாக இருக்க வேண்டுமானால் உருட்டில், படத்தில் காட்டியபடி, ஒரு நூலைக் கட்டி இதை உருளையின் வரம்புகளினிடையிலிட்டு மற்றொரு நுனியில் ஒரு தராசுத்தட்டைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். முதலில் உருட்டின் எடையையும் (W) தராசுத்தட்டின் எடையையும் (w) கண்டுகொள்க. உருட்டை சமநிலையில் இந்த சாய்வு மட்டத்தின்மேல் நிற்கவைக்கவேண்டிய P என்னும் இழுக்கும் தாக்கை, தராசுத்தட்டில் சிறிது சிறிதாக எடைகளை இட்டுக் காணவேண்டும். தட்டில் சிறிது சிறிதாக எடையை இட்டு, நகர்த்திவிட்டால் உருட்டு மாறாத வேகத்துடன் மேலேறுவதற்கு வேண்டிய எடையைக் காண்க. இதை P_1 என்றால், இழுக்கும் தாக்கு $(P_1 + w)$ ஆகும். இதே விதம் உருட்டை AB-யின் உச்சியிலிட்டு அதை கீழ்நோக்கி நகர்த்திவிட்டால் மாறாத வேகத்துடன் கீழே இறங்குவதற்கு வேண்டிய எடையைக் (P_2) காண்க. இப்பொழுது இத்தாக்கின் அளவு $(P_2 + w)$. உருட்டைச் சமநிலையில் நிறுத்தக்கூடிய தாக்கு $\left(\frac{P_1 + w + P_2 + w}{2}\right) = \frac{P_1 + P_2}{2} + w$ ஆகும். இதை P என குறித்தால் இதன் எந்திரப்பயன் W/P ஆகும். இதைக் கணக்கிடுக. சாய்வு மட்டத்தின் AB என்ற நீளத்தையும், BC என்ற உயரத்தையும் அளந்து AB/BC-ஐக் கணக்கிடுக. இவைகளை அளக்க AB என்ற பலகையின் அடித்தளத்தின் விளிம்பில் B என்ற எதாவது ஒரு புள்ளியைக் குறிக்கவும். AB என்ற நீளத்தை அள. பீடப்பலகையின் மேல்பரப்பிலிருந்து B-யின் செங்குத்தான உயரத்தை (BC-ஐ) அளந்து AB/BC-ஐக் காண்க, W/P = AB/BC என்றிருப்பதைக் காணலாம். AB-யின் சாய்வை பலதடவை மாற்றி அமைத்து ஒவ்வொரு தடவையும் P-ஐக் கண்டு W/P = AB/BC எனக் காட்டுக.

கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக :—

உருட்டின் எடை **W** கிராம் எடை =

தட்டின் எடை *w* கிராம் எடை =

நிரலிடு :—

எண்ணிக்கை	உருட்டு மேலேற P_1 கிராம் எடை	உருட்டு இறங்க P_2 கிராம் எடை	உருட்டு சமநிலையிலிருக்க $\frac{P_1+P_2}{2}+w=P$	W/P	தளத்தின் நீளம் AB செ. மீ.	உயரம் BC செ. மீ.	AB/BC
1.							
2.							
3.							

(2) **P** பீடப்பலகைக்கு இணையாக (மட்டமான திசையில்) இருக்க தளத்தின் மேலுள்ள கண்ணாடிப் பலகையை எடுத்துவிட்டு உருட்டு கட்டியிருக்கும் நூலைத் தளத்தின் உள் துவாரத்தின் வழியாக மட்டமாக இருக்கும்படி ஒரு உருளையின் உள்வரம்புகளினிடையிலிட்டுத் தொங்க விடவும். (படம் 19-*b*)

முன்போலவே P_1, P_2, **P** இவற்றை தளத்தின் பல சாய்வுகளுக்குக் காணவும். ஒவ்வொரு சாய்வுக்கும் பீடத்தின் நீளத்தையும் (**AC**), தளத்தின் உயரத்தையும் (**BC**) அளந்து $\frac{AC}{BC}$-ஐக் கணக்கிடுக. தளத்தின் சாய்வு மாறினபோதிலும் $\frac{W}{P}=\frac{AC}{BC}$ எனக் காணலாம். P_1, P_2 இவைகளைக் காணும்பொழுது நூல் மட்டமாக இருக்கவேண்டும்.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	உருளை			$\frac{W}{P}$	தளத்தின் நீளம் AC செ. மீ.	தளத்தின் உயரம் BC	$\frac{AC}{BC}$
	மேலேற P_1 கி. எடை	கீழிறங்க P_2 கி. எடை	சமநிலையிலிருக்க $\frac{P_1+P_2}{2}+w=P$				
1.							
2.							
3.							

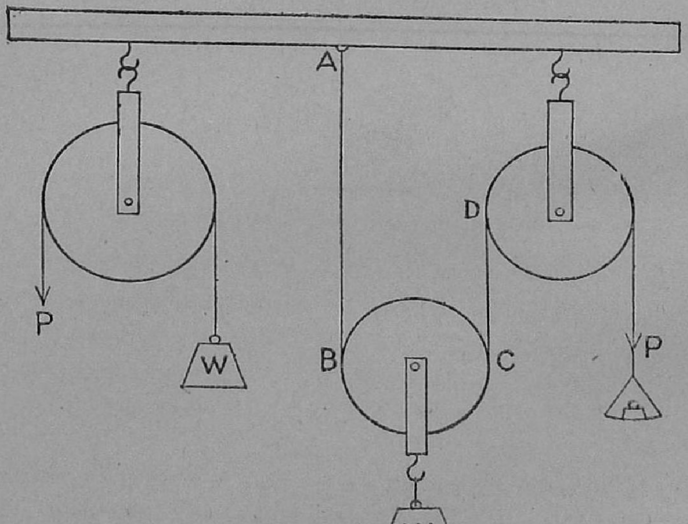
சகடைகள் (Pulleys)

உருளை அல்லது சகடை என்பது மற்றொரு எளிய எந்திரம். இதில் ஒரு சக்கரம் அதன் மையத்திற் செல்லும் அச்சைச் சுற்றிப் பிணர்வு இல்லாமல் சுற்றும்படி அமைக்கப்பட்டு இருக்கும். இச்சக்கரத்தின் விளிம்பில் மெல்லிய ஒரு நூல் பதிந்து ஓடும்படி ஒரு சிறு வாய்க்கால் (groove) வெட்டப்பட்டிருக்கும். அதன் அச்சின் இருமுனைகளையும் தாங்கி நிற்கும் சட்டத்திற்கு உருளையின் தாங்கி (Block) என்று பெயர். பொதுவாக உருளைகள் கனமுள்ள சாமான்களைக் கீழிருந்து மேல்நோக்கித் தூக்க உபயோகப்படுகின்றன. இவ்விதம் உபயோகிக்கப் பல முறைகள் உண்டு. அவைகளாவன :—

(1) தனிநிலை உருளை.

(2) இயங்கு உருளை.

(3) அடுக்கு உருளைகள்.



படம் 20

ஒவ்வொரு முறையிலும் ஒருவித எந்திரப்பயன் (mechanical advantage) உண்டு. குறைவான விசையைக்கொண்டு மிகக் கனமுள்ள

எடையைத் தூக்க முடியும். விசை P என்றும், எடை W என்றும் வைத்துக்கொண்டால் எந்திரப்பயன் W/P என்னும் தகவுதான்.

சோதனை 11 :—

உருளைகளை இம்மூன்று முறையிலும் உபயோகித்து ஒவ்வொரு முறையிலும் எந்திரப்பயனைக் காண்க :—

1. தனிநிலை உருளை (Single fixed pulley) :—

இதன் தாங்கி (block), படத்தில் (படம் 20) உள்ள விதம், ஏறி இறங்காமல் மாட்டப்பட்டிருக்கும். W என்ற கனமான எடையைத் தூக்கித் தாங்க, P என்ற ஒரு தாக்கை நூலின் மறு முனையில் தொழிற்படச் செய்யவேண்டும். நூலின் பிகு (tension) எவ்விடத்திலும் சமமாக இருக்குமாதலால் W = P. அதனால், இதன் எந்திரப்பயன் W/P = 1. அதாவது, பரிமாணத்தில் சாதகம் எதுவுமில்லை. ஆனால், இது கொடுக்கும் சாதகம் திசை வேறுபாடுதான். எடையின் கனத்தை மாற்றி ஒவ்வொரு எடையையும் தாங்கி நிற்கக்கூடிய விசை P-ஐக் கண்டு, W/P = 1 என்று நிரூபி.

2. தனி இயங்கு உருளை (Single movable pulley) :—

இம்முறையில் உருளை, அதன் தாங்கி ஏறி இறங்கும்படி தொங்க விடப்பட்டிருக்கும். எந்திரப்பயனைச் சுலபமாகக் கணக்கிட படத்தில் காட்டியவாறு (படம் 20) AB, CD என்ற நூலின் இருபாகங்களும் இணையாக இருக்கவேண்டும். W என்ற எடையைத் தொங்கும் உருளையின் தாங்கியுடன் இணைத்து, அதைத் தூக்கிச் சமநிலையில் நிறுத்தக்கூடிய தாக்கை, D என்ற முனையில் மேல்நோக்கி தொழிற்படச் செய்க. இத் தாக்கு P என்றால் எந்திரப்பயன் W/P. நூலின் இருபாகங்களும், W என்னும் எடையைச் சமமான பிகுவுடன் (P) தாங்குகின்றன. W-வைத் தாங்கும் மொத்தத் தாக்கு 2P. அதாவது W = 2P. அதனால் எந்திரப்பயன் W/P = 2. W என்னும் எடையின் கனத்தை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் கிடைக்கும் P-ஐக் கண்டு எந்திரப்பயனைக் கணக்கிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	எடையின் கனம் (W கிராம் எடை)	விசை (P கிராம் எடை)	எந்திரப்பயன் W/P

குறிப்பு :—இங்கு உருளையின் எடை கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளப் படவில்லை. பொதுவாக, மிகவும் கனமுள்ள பொருள்களைத் தூக்கத் தான் உருளைச் சாதனங்கள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன. உருளையின் எடை, பொருள்களின் எடையைவிட மிகச் சிறியது. அதனால் உருளை யின் எடையை விட்டுவிடலாம். அதாவது, சாதாரணமாக உருளைகள் நிறையற்றவைகளாகவும், பிணர்வு இல்லாதவைகளாகவும் கருதப்பட வேண்டும். இதனுடன் உபயோகிக்கும் நூல் எடையற்றதாகவும் நீண்டு கொடுக்கும் தன்மையற்றதாகவும் கொள்ளவேண்டும்.

3. உருளை அடுக்குகள். (System of pulleys) :—

பல உருளைகள் பலவேறு விதமாக அடுக்கப்பட்டு அனுபவத்தில் கையாளப்படுகின்றன. இவ்வித அடுக்குகளில் முக்கியமானவை மூன்று அமைப்புகள். இவற்றை, முறையே, முதல் அமைப்பு, இரண்டாவது அமைப்பு, மூன்றாவது அமைப்பு எனக் கூறுவதுண்டு.

முதல் அமைப்பு :—

ஒரு அசையாத சட்டத்திலிருந்து மூன்று நூல் துண்டுகளைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். படத்தில் காட்டிய விதம், (படம் 21-a) A, B, C என்ற உருளைகளை இந்நூல் துண்டுகளால் கட்டித் தொங்கவிட்டு அமைக்க வும். இந்நூல் துண்டுகள் செங்குத்தாகவும், ஒன்றுக்கொன்று இணை யாகவும் இருக்கவேண்டும், இந்த அமைப்பில், A, B, C என்ற மூன்று

உருளைகளும் இயங்கு உருளைகள். D ஒரு நிலை உருளை. D-யின் விளிம்பிலிருந்து தொங்கும் நூல் நுனியில் ஒரு லேசான தட்டைக் கட்டித் தொங்கவிடவும். இத்தட்டின் நிறையை (w) முன்னதாகவே கண்டு குறித்துக்கொள்க. கனம் உள்ள W என்னும் எடையை A-யின் தாங்கியி லிருந்து தொங்கவிடுக. இந்த எடையைச் சமநிலையில் நிறுத்துவதற் குத் தட்டில் எடைகளை வைத்துப் போதுமான விசையைக் காண வேண்டும். பல உருளைகளை உபயோகிப்பதால் பிணர்வு கொஞ்சம் இருக் கும். இதை நீக்க W என்னும் எடை மெதுவாக மேலே ஏறுவதற்கு வேண்டிய w_1 என்னும் தட்டிலிடவேண்டிய எடையையும், W மெது வாகக் கீழிறங்குவதற்கு வேண்டிய w_2 என்னும் தட்டிலிடவேண்டிய எடையையும் காண்க. W-வைச் சமநிலையில் நிறுத்த தட்டில் இட வேண்டிய எடை $\frac{w_1 + w_2}{2}$ என்ற இடை மதிப்புத்தான். இவ்விடை மதிப் புடன் தராசின் எடையைக் கூட்டினால் இக்கூட்டுத்தொகைதான் W-வைச் சமநிலையில் நிறுத்தக்கூடிய விசை. அதாவது விசை $P = w + \frac{w_1 + w_2}{2}$. இந்த அமைப்பின் எந்திரப்பயன் W/P. பொரு ளின் எடையும், P-யின் எடையும் கிராம் எடையிலேயே இருக்க வேண்டும்.

எந்திரப்பயனைக் கீழ்க்கண்ட விதம் காணலாம். ஒவ்வொரு நூலி லும் எப்பாகத்திலும் பிகு (Tension) ஒன்றேயாகும். இந்நூல்களின் பிகுக்களை T_1, T_2, T_3 எனக்கொண்டால்,

$$P = T_3$$

$$T_2 = 2T_3 = 2P$$

$$T_1 = 2T_2 = 2 \times 2T_3 = 2^2P$$

$$W = 2T_1 = 2 \times 2T_2 = 2 \times 2 \times 2T_3 = 8P = 2^3P.$$

எந்திரப்பயன் $W/P = 2^3$. இங்கு 2^3-யில் 3 என்பது இயங்கும் உருளைகளின் எண்ணிக்கை. இந்த அமைப்பில் n இயங்கு உருளைகள் இருந்தால், எந்திரப்பயன் $\frac{W}{P} = 2^n$.

இவ்வாறு, பலமுறை W-வின் எடையை மாற்றி ஒவ்வொரு முறை யும் P-ஐக் கணக்கிட்டு எந்திரப்பயனைக் காண்க.

நிரலிடு :—

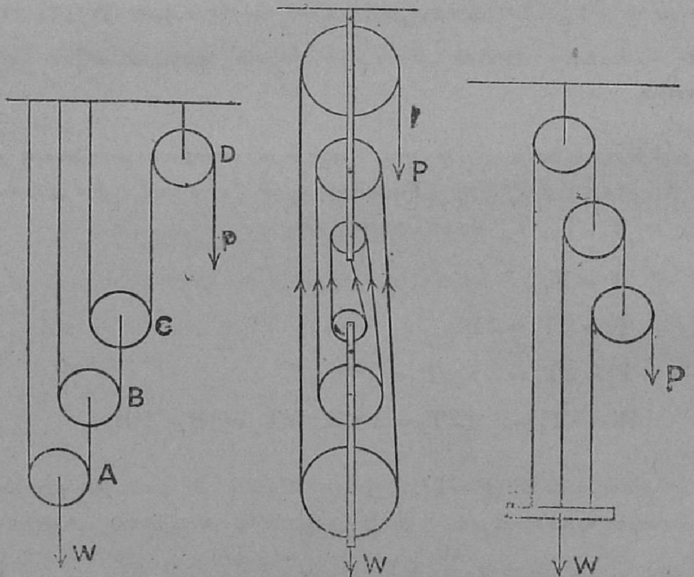
இயங்கு உருளைகளின் எண்ணிக்கை = 2.

எண்ணிக்கை	பொருளின் எடை (W கிராம் எடை)	விசை (P கிராம் எடை)	எந்திரப்பயன் $\frac{W}{P}$

இயங்கு உருளைகளின் எண்ணிக்கையை மாற்றி, மறுபடியும் சோதனையைச் செய்யவும்.

இரண்டாவது அமைப்பு :—(படம் 21-b)

இவ்வமைப்பில் இரண்டு உருளைத்தாங்கிகள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு தாங்கியிலும் இரண்டு அல்லது மூன்று உருளைகள் உண்டு.



(a) (b) (c)

படம் 21

படத்தில் ஒவ்வொரு தாங்கியிலும் மூன்று உருளைகள் இருக்கின்றன.

ஒரு தாங்கியை அசையாத ஒரு சட்டத்தில் தொங்கவிட்டு, அதன் அடிப்புறத்தில் ஒரு நீளமான நூலின் நுனியைக் கட்டி இந்நூலைப் படத்தில் காட்டியபடி இவ்விரு தாங்கிகளில் உள்ள உருளைகளின் வாய்க்கால்களிலிட்டு, மறு முனையில் ஒரு லேசான தராசுத்தட்டைத் தொங்கவிடவும். W என்னும் எடையை இயங்கு உருளைத்தாங்கியினடியில் தொங்கவிடவும். முதலமைப்பில் கூறிய விதம் இந்த எடையைச் சமநிலையில் நிறுத்தக்கூடிய விசை P-யைக் கண்டு எந்திரப்பயன் W/P-ஐக் கணக்கிடுக.

இவ்வமைப்பில் ஒரே நூல்தான் உபயோகப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. கீழே தொங்கும் உருளைத்தாங்கியையும் W என்னும் எடையையும் இந்நூலின் 6 பாகங்கள் தாங்கி நிற்கின்றன. நூலில் தொழிற்படும் பிகு P. அதனுல் $W=6P$. எந்திரப்பயன் $W/P=6$. இங்கு 6 என்பது இயங்கு தாங்கியை மேல்நோக்கி இழுக்கும் நூலின் பாகங்களின் எண்ணிக்கை.

இவ்வமைப்பிலும், உருளைகளின் எடையை மிகக் குறைவாகக் கருதி கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ளவில்லை. இதில் ஒரே சரடு அல்லது நூல் தான் உபயோகப்படுவதால், இவ்வமைப்பை "ஒற்றை சரட்டு அமைப்பு" என்றும் கூறுவதுண்டு.

மூன்றுவது அமைப்பு :—(படம் 21-c)

உருளைகளைப் படத்தில் காட்டிய விதம் தொங்கவிட்டு அமைக்கவும். ஒவ்வொரு உருளையின் மேலாகத் தொங்கும் சரட்டின் ஒரு நுனி தூக்கப்படும் பொருளோடு கட்டப்படவேண்டும். படத்தில் உள்ள மூன்று நூல்களின் பிகுக்களை T_1, T_2, T_3 எனக் குறித்தால், W சமநிலையில் இருக்கும்போது $W=T_1+T_2+T_3$.

ஆனுல் $T_3=P$.

$$T_2=2T_3=2P$$

$$T_1=2T_2=4T_3=4P$$

$$\therefore \quad W=4P+2P+P=7P=(2^3-1)\,P.$$

எந்திரப்பயன் $\frac{W}{P}=(2^3-1)$.

n உருளைகளை உபயோகித்தால் $\frac{W}{P}=2^n-1$. முன் செய்த விதம் பல எடைகளுக்கு P-ஐக் கண்டு, ஒவ்வொரு தடவையும் $\frac{W}{P}$ என்பது 2^n-1 என்று இருப்பதை நிரூபி.

நீர்நிலையியல் (Hydrostatics)

செறிவு (Density) என்பது பொருள்களில் உள்ள நெருக்கத்தைக் குறிக்கிறது. ஒரு பொருளின் நிறை M கிராம் என்றும், அதன் பருமன் (Volume) V கன செ. மீ. என்றும் வைத்துக்கொண்டால் அப்பொருளின் செறிவு $\frac{M}{V}$ கிராம் / 1 க. செ. மீ. ஒரு கன செ. மீ. பருமைக்கொண்ட ஒரு பொருளின் நிறையே அதன் செறிவாகும். பொருள்களின் செறிவுகளை ஒரு கன செ. மீட்டருக்குள்ள கிராம் என்றும், ஒரு கன அடிக்குள்ள பவுண்டு என்றும் குறிப்பிடவேண்டும்.

ஒப்புச் செறிவு: (Sp. gravity or Relative density) தண்ணீரை திடப் பொருளாகக்கொண்டு (Standard substance) மற்ற பொருள்களின் செறிவுகளை ஒப்பிட்டுப் பார்ப்பது ஒரு வழி.

ஏதாவது ஒரு பரும அளவைக்கொண்ட ஒரு பொருளின் எடைக்கும், அதே பரும அளவைக்கொண்ட தண்ணீரின் எடைக்கும் உள்ள 'தகவே' (Ratio) அப்பொருளின் ஒப்புச் செறிவாகும்.

பொருளின் எடை W கிராம் என்றும் அதன் பரும அளவைக் கொண்ட தண்ணீரின் எடை w கிராம் என்றும் கொண்டால், அப்பொருளின் ஒப்புச் செறிவு, $\rho = \frac{W \text{ கிராம்}}{w \text{ கிராம்}}$. இது இரண்டு எடைகளுக்குமுள்ள தகவானதால் ஒரு வெறும் எண்ணேயாகும்.

ஒப்புச் செறிவு

$$\rho = \frac{\text{பொருள்களின் எடை}}{\text{அதே பரும அளவு தண்ணீரின் எடை}}$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{\text{பொருளின் பருமம்} \times \text{பொருளின் செறிவு}}{\text{பொருளின் பருமம்} \times \text{தண்ணிரின் செறிவு}}$$

$$\therefore \quad \rho = \frac{\text{பொருளின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}}$$

ஆகையால், பொருளின் செறிவு $= \rho \times$ தண்ணீரின் செறிவு. தண்ணீரின் செறிவு மெட்ரிக் திட்டத்தில் ஒரு கிராம் / 1 கன செ. மீ. ஆகையால் இத்திட்டத்தில் எண்ணளவில் பொருளின் செறிவும், அதன் ஒப்புச்செறிவும் ஒன்றேயாகும்.

பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் தண்ணீரின் செறிவு 62·5 பவுண்டு / கன அடி. ஆகையால் பொருளின் செறிவு

= பொருளின் ஒப்புச் செறிவு $\times$ 62·5

= 62·5 $\times$ ρ பவுண்டு / கன அடி.

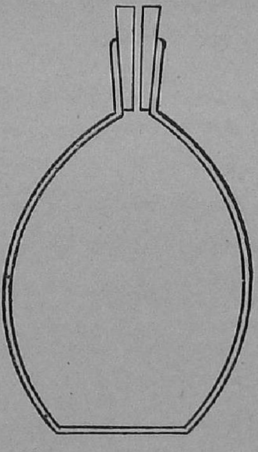
ஒரு பொருளின் ஒப்புச் செறிவு ρ என்றால், அதன் செறிவு மெட்ரிக் திட்டத்தில் ρ கிராம் / கன செ. மீ. பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் 62·5 ρ பவுண்டு / கன அடி.

சோதனை 12 :—

செறிவுக் கலத்தை உபயோகித்துக் கீழ்க்கண்டவைகளின் செறிவுகளைக் காண்க :—

1. கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் திரவம்.
2. தண்ணீரில் கரையாததும், மிதக்காததுமான ஒரு பொருளின் தூள்கள். (Powder).
3. சர்க்கரை.

செறிவுக் கலம் (படம் 22) என்பது குறுகிய, நீண்ட வாயுடன் கொண்ட ஒரு கண்ணாடிக் கலம். இதன் வாயில் சரியாகப் பொருந்தும்



படம் 22

படி செவ்வையாகத் தேய்த்த ஒரு நீண்ட கண்ணாடி அடைப்பான் இருக்கும். இந்த அடைப்பானில் நெடுகே ஒரு மெல்லிய துவாரம் உண்டு. சில

கலங்கள் குறிப்பிட்ட பருமத்தைக்கொண்ட திரவத்தைக் கொள்ளும்படி செய்யப்பட்டிருக்கும். ஆனல் ஒரு பொருளின் ஒப்புச் செறிவைக் காண இந்தக் கலத்தின் உட்பருமத்தின் அளவு தேவையில்லை.

1. திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண :—

கலத்தைச் சுத்தமாகக் கழுவி உலர வைத்து, அதன் எடையை ஒரு தராசைக்கொண்டு காண்க. பிறகு அதனுள் கொடுத்திருக்கும் திரவத்தை ஊற்றி நிரப்பவும். கலத்தினுள் காற்றுக் குமிழிகள் இல்லாதிருக்கும்படிச் செய்ய கலத்தைக் குலுக்கவும். காற்றுக் குமிழிகள் நீக்கப்பட்ட பிறகு அடைப்பானை அதன் வாயில் கெட்டியாக இடவும். இதனல் கொஞ்சம் திரவம் அடைப்பானில் உள்ள துவாரத்தின் வழியாக வழியும். இவ்விதம் வழிந்த திரவத்தை ஒரு துணியால் செவ்வையாகத் துடைத்துக் கலத்தைத் தராசிலிட்டு அதன் எடையைக் காண்க. பிறகு திரவத்தை ஊற்றிவிட்டுத் தண்ணீரால் இரண்டு, மூன்று முறை கலத்தைக் கழுவி, அதில் தண்ணீரை நிரப்பி, அடைப்பானிட்டு, வழிந்த தண்ணீரைச் செவ்வையாகத் துடைத்து மறுபடியும் தராசிலிட்டு அதன் நிறையைக் காணவும். கிடைத்த வாசகங்களைக் கீழ்க்கொடுத்தபடிக் குறித்துத் திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க.

காலிக் கலத்தின் நிறை $= w$ கிராம்.

திரவத்துடன் கலத்தின் நிறை $= w_1$ கிராம்.

தண்ணீருடன் கலத்தின் நிறை $= w_2$ கிராம்.

கலத்தினுள் நிரப்பப்பட்ட திரவத்தின் நிறை $= w_1 - w$ கிராம். கலத்தினுள் நிறப்பப்பட்ட தண்ணீரின் நிறை $= w_2 - w$ கிராம். $w_1 - w$ கிராம் திரவமும், $w_2 - w$ கிராம் தண்ணீரும், ஒரே பருமத்தைக் கொண்டவை. அதனல் திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு $= \frac{w_1 - w}{w_2 - w}$. இதன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் குறிக்க.

2. ஒரு கட்டிப்பொருளின் ஒப்புச்செறிவைக் காண :—

பெரிய கட்டியாக இருந்தால், கலத்தினுள் செலுத்தமுடியாது. அதனல் இப்பொருளை சிறு தூள்களாக்கி உபயோகிக்கவேண்டும்.

உலர்ந்த காலிக்கலத்தின் எடையைக் கண்டுகொண்டு அதன் மூன்றில் ஒரு பங்கை இத்தூள்களால் நிரப்பி, கலத்தின் எடையைக் காணவும். இப்பொழுது, கலத்தில் தூள்களுக்குமேல் தண்ணீரை நிரப்பி, அடைப்பானிட்டுத் துடைத்து அதன் எடையைக் கண்டுகொள்க. பிறகு, கலத்தினுள் இருக்கும் தண்ணீரையும் தூள்களையும் கொட்டிவிட்டு கலத்தை

நன்றாகக் கழுவி, தண்ணீரால் நிரப்பி, அடைப்பானிட்டு, வெளிப்புறம் துடைத்து அதன் எடையைக் காண்க. எடுத்த எடைகளை வரிசைக் கிரமமாக குறித்து பொருளின் ஒப்புச் செறிவைக் கணக்கிடுக :—

காலிக்கலத்தின் எடை	.... w கிராம்.
தூளுடன் கலத்தின் எடை	.... w_1 கிராம்.
தூளின் எடை	.... $(w_1 - w)$ கிராம்.
தூள், தண்ணீர் இவைகளுடன் கலத்தின் எடை	.... w_2 கிராம்.
கலத்தில் தூளுக்குமேல் நிரம்பி யிருக்கும் தண்ணீரின் எடை	............$(w_2 - w_1)$ கிராம்.
தண்ணீர்மட்டும் நிரம்பின கலத்தின் எடை	.... w_3 கிராம்.
கலத்தில் நிரம்பின தண்ணீரின் எடை	.... $w_3 - w$ கிராம்.
கலத்தினுளிட்ட தூள்களின் பருமத்தைக்கொண்ட தண் ணீரின் எடை	............$(w_3 - w) - (w_2 - w_1)$ கிராம்.
	$= w_3 - w - w_2 + w_1$.

$$\text{பொருளின் ஒப்புச் செறிவு} = \frac{\text{பொருளின் எடை}}{\text{அதன் பரும அளவு கொண்ட தண்ணீரின் எடை}}$$

$$\rho = \frac{w_1 - w}{w_3 - w - w_2 + w_1}.$$

3. சர்க்கரையின் ஒப்புச்செறிவைக் காண :—

சர்க்கரை தண்ணீரில் கரைந்துவிடும். அதனால் சர்க்கரை கரையாம லிருக்கக்கூடிய ஒரு திரவத்தை எடுத்துக்கொண்டு, அத்திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்க. இதை ρ என்று வைத்துக்கொள்ளுவோம். இரண் டாவது சோதனையில் செய்தவிதம் தண்ணீருக்குப் பதிலாக இத்திர வத்தை உபயோகித்து முன்போலவே குறித்துக்கொள்க. அதே வாச கங்களை வைத்துக்கொண்டால் $(w_1 - w)$ என்பது கலத்தினுள் இட்ட சர்க்கரையின் எடை. $(w_3 - w - w_2 + w_1)$ என்பது இச்சர்க்கரையின் பரும அளவைக்கொண்ட திரவத்தின் எடை. இதன் ஒப்புச் செறிவு

ρ என்றால், இதே பருமத்தைக் கொண்ட தண்ணீரின் எடை $\frac{w_3 - w - w_2 + w_1}{\rho}$ கிராம். ஆகையால், சர்க்கரையின் ஒப்புச் செறிவு

$$\sigma = \frac{w_1 - w}{\frac{w_3 - w - w_2 + w_1}{\rho}} = \frac{w_1 - w}{w_3 - w - w_2 + w_1} \times \rho.$$

$$\sigma = \frac{\text{சர்க்கரையின் நிறை}}{\text{அதன் பரும அளவைக்கொண்ட திரவத்தின் நிறை}} \times \text{திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு.}$$

இவ்விதம் கணக்கிட்டு σ வைக் காண்க.

சர்க்கரையின் ஒப்புச் செறிவைக் காண மண்ணெண்ணெயைத் தண்ணீருக்குப் பதிலாக உபயோகிக்கலாம். இதே விதம், தண்ணீரில் கரையும் ஒவ்வொரு பொருளுக்கும், அது கரையாதிருக்கும் ஏதேனுமொரு திரவத்தை உபயோகிக்கவேண்டும்.

ஆர்க்கிமிடீயின் தத்துவம்

திரவங்களுக்கும், வாய்வுகட்கும் ஓடி (Fluid) என்பது பொதுப் பெயர்.

ஓர் ஓடியில், அதாவது ஒரு திரவத்தில் அல்லது வாயுவில், ஒரு பொருள் முற்றும் மூழ்கிக்கிடந்தால் அதன்மீது தொழிற்படும் தாக்குகள் மூன்று ஆகும்.

அவையாவன :—

1. பொருளின் எடைத்தாக்கு செங்குத்தாக கீழ்நோக்கி தொழிற்படுகிறது.

2. ஓடியின் உந்து (the fluid thrust) பொருளின்மீது செங்குத்தாக மேல்நோக்கி தொழிற்படுகிறது.

3. படுக்கைத் திசையில் பொருளின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஓடியின் உந்து பொருளை நோக்கி அதன்மீது தொழிற்படுகிறது.

இவ்விதம் ஓர் ஓடியில் மூழ்கியிருக்கும் ஒரு பொருள் படுக்கைத் திசையில் நகருவதில்லை. ஆகையால் மூன்றுவதாகச் சொல்லப்பட்ட தாக்குகளின் பயனிலை சூனியமாகும். முதல் இரண்டு தாக்குகளில் பொருளின் எடை W, திரவத்தின் உந்து W_1-ஐ விட அதிகமானல் பொருள் முற்றிலும் திரவத்தினுள் மூழ்கிவிடும். பொருளின் எடை W, திரவத்தின் உந்து W_1-ஐ விடக் குறைவாக இருந்தால் பொருள் மிதக்கும்.

ஒரு பொருள் தண்ணீரில் முற்றிலும் மூழ்கி இருந்தால் அதன் பருமத்தைக்கொண்ட திரவத்தை அது வெளியேற்றுகிறது. பொருள் மிதந்தால், திரவத்தினுள் மூழ்கின அதன் பாகத்தின் பருமத்தை உடைய திரவத்தைதான் அது வெளியேற்றுகிறது. திரவத்தினுள் ஒரு பொருள் மூழ்கிக்கிடந்தாலும், மிதந்தாலும் அது வெளியேற்றின திரவத்தின் எடைதான் அப்பொருளை மேனேக்கித் தூக்கும் திரவத்தின் உந்து (upward fluid thrust). இப்பொழுது, ஒரு பொருள் திரவத்தில் முற்றிலும் மூழ்கிக்கிடந்தால் அது வெளியேற்றிய திரவத்தின் பருமம் பொருளின் பருமத்தை உடையது. இவ்விதம் வெளியேற்றிய திரவத்தின் எடைத்தாக்கு, பொருளை மேனேக்கித் தூக்குகிறது. அதனுல், ஒரு பொருள் திரவத்தினுள் இருக்கும்பொழுது அதன் எடை குறைவுபடுவதாகத் தோன்றுகிறது. இவ்விதம் குறையும் எடை, பொருளின் பருமத்

தைக்கொண்ட திரவத்தின் எடையே. இதுதான் ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவம். இதைக் கூறும் முறை வருமாறு :—

திரவமொன்றில் மூழ்கியிருக்கும் ஒரு பொருளின் எடை தன் பருமத்தைக்கொண்ட திரவத்தின் எடையளவு குறைவுபடுவதாகத் தோன்றும்.

அல்லது,

திரவமொன்றில் ஒரு பொருள் மிதந்தாலும், மூழ்கிக்கிடந்தாலும் அப்பொருள் வெளியேற்றின திரவத்தின் எடைகொண்ட ஒரு தாக்கு அதன்மேல் மேனோக்கித் தொழிற்படுகிறது.

சோதனை 13 :—

ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தை உபயோகித்து கீழ்க்கண்ட பொருள்களின் ஒப்புச் செறிவுகளைக் காண்க :—

1. மண்ணெண்ணெய்.
2. ஒரு கனமான கண்ணாடித் துண்டு.
3. தண்ணீரில் மிதக்கக்கூடிய ஒரு தக்கை.
4. ஒரு செப்புக் கந்தகைப் படிகம். ($CuSO_4$ crystal)

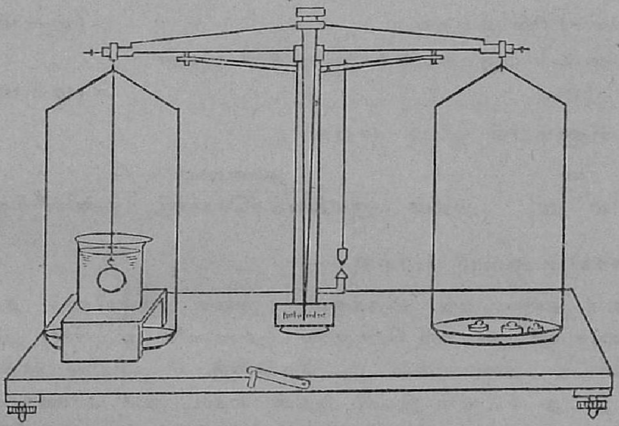
$$\text{பொருளின் ஒப்புச் செறிவு} = \frac{\text{பொருளின் எடை}}{\text{பொருளின் பருமத்தை உடைய தண்ணீரின் எடை}}$$

பொருள் தண்ணீரில் மூழ்கும்பொழுது ஏற்படும் எடைக் குறைவு அதன் பருமத்தை உடைய தண்ணீரின் எடையே ஆகும். ஆதலால், பொருளின் ஒப்புச் செறிவு $\rho = \frac{\text{பொருளின் எடை}}{\text{நீரில் அதன் எடை குறைவு}}$.

1. மண்ணெண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு :—

தண்ணீர், மண்ணெண்ணெய் இவை இரண்டிலும் மூழ்கக்கூடிய ஒரு கனமுள்ள பொருளை எடுத்துக்கொள். சோதனைக்காகக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கும் கண்ணாடித்துண்டே இதற்கு உபயோகப்படும். இக்கண்ணாடித்துண்டை ஒரு மெல்லிய சரட்டில் கட்டி ஒரு தராசின் இடது புறத்து அங்கவடிவுக் கொக்கியிலிருந்து தொங்கவிட்டு, வலது தட்டில் எடையிட்டு, இத்துண்டின் நிறையைக் காண்க. பிறகு, இடது தட்டின் மீது கவிழ்ந்து அதைத் தொடா வண்ணம், ஒரு நீரியல் தவிசை (Hydrostatic bench) வைத்து அதன்மீது தண்ணீருடன் கூடிய ஒரு கண்ணாடிக் குவளையை வைத்து (படம் 23) அதனுள் கண்ணாடித் துண்டைத் தொங்கவிடவும். இப்பொழுது, இத்துண்டு, குவளையைத் தொடாமலும் தண்ணீரில் முற்றிலும் மூழ்கியும் இருக்கவேண்டும். வலது தட்டில்

எடையிட்டு, தண்ணிரில் மூழ்கித்தொங்கும் துண்டின் எடையைக் காண்க. இந்த எடை முன்கண்ட எடையைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இந்தக் குறைவைக் கணக்கிட்டுக்கொள்க. பிறகு, கண்ணுடிக் குவளையில் உள்ள தண்ணீரைக் கொட்டிவிட்டு அதில் மண்ணெண்ணெயை முக்கால் பாகம், நிரப்பி, அதனுள் முன்போல் கண்ணுடித் துண்டைத் தொங்கவிட்டு,



படம் 23

எண்ணெயில் அதன் எடையைக் கண்டு, எண்ணெயுள் மூழ்கியதால் ஏற்பட்ட எடைக் குறைவைக் காணவும். கிடைத்த வாசகங்களைக் கீழ்க் கண்டவாறு குறித்து, மண்ணெண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்க.

காற்றில் கண்ணுடித்துண்டின் எடை $= w$ கிராம்.
தண்ணீரில் கண்ணுடித்துண்டின் எடை $= w_1$ கிராம்.
எண்ணெயில் கண்ணுடித்துண்டின் எடை $= w_2$ கிராம்.
எண்ணெயில் பொருளின் குறைவுபட்ட எடை $= w - w_2$ கிராம்.
தண்ணீரில் பொருளின் குறைவுபட்ட எடை $= w - w_1$ கிராம்.

ஆர்க்கிமிடியின் தத்துவத்தால் $w - w_2$ கிராம் எண்ணெயும், $w - w_1$ கிராம் தண்ணீரும் ஒரே பருமத்தைக்கொண்டவை. அதாவது, கண்ணுடித்துண்டின் பருமத்தை உடையன. அதனுல் எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு

$$\rho = \frac{\text{எண்ணெயின் எடை}}{\text{அதே பருமத்தைக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை}}$$

$$\rho = \frac{w - w_2}{w - w_1} = \frac{\text{எண்ணெயில் குறைந்த எடை}}{\text{தண்ணீரில் குறைந்த எடை}}.$$

2. கண்ணாடித் துண்டின் ஒப்புச் செறிவு :—

கீழ்க் கொடுத்திருக்கும் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்து, கண்ணாடித் துண்டின் ஒப்புச் செறிவைக் கணக்கிடுக :—

காற்றில் கண்ணாடித் துண்டின் எடை	$= w$ கிராம்
தண்ணீரில் அதன் எடை	$= w_1$ கிராம்
தண்ணீரில் குறைவுபட்ட எடை	$= (w - w_1)$ கிராம்
துண்டின் பருமத்தை உடைய தண்ணீரின் எடை	$= (w - w_1)$ கிராம்

கண்ணாடியின் ஒப்புச் செறிவு

$$\rho = \frac{w}{w - w_1} = \frac{\text{துண்டின் எடை}}{\text{அதன் பருமத்தைக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை.}}$$

3. தக்கையின் ஒப்புச் செறிவு :—

தக்கை தண்ணீரில் மிதக்கும். அதை முற்றிலும் தண்ணீரில் மூழ்க வைக்க ஓர் கனமான பொருளை (தண்ணீர் முழுக்கி) அதனுடன் சேர்த்துக்கட்டி தண்ணீரில் இடவேண்டும். முதலில் தக்கையைத் தராசின் இடது தட்டில் இட்டு அதன் எடையைக் காணவும். பிறகு அதை நீர் மூழ்க்கியுடன் சேர்த்துக்கட்டி முன்போல் தண்ணீரில் அவை இரண்டும் மூழ்கி இருக்கையில் அவற்றின் எடையைக் காண்க. இப்பொழுது தக்கையை எடுத்துவிட்டு, கனமுள்ள பொருளைமாத்திரம் தண்ணீரில் தொங்கவிட்டு அதன் எடையைக் காண்க. கிடைத்த வாசகங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு குறித்துத் தக்கையின் ஒப்புச் செறிவைக் கணக்கிடுக.

காற்றில் தக்கையின் நிறை	$= w$ கிராம்.
தண்ணீரில் தக்கை, நீர்மூழ்க்கி இவைகளின் நிறை	$= w_1$ கிராம்.
தண்ணீரில் நீர்மூழ்க்கியின் நிறை	$= w_2$ கிராம்.
தண்ணீரில் தக்கையின் நிறை	$= (w_1 - w_2)$ கிராம்.
தண்ணீரில் தக்கையின் குறைவு பட்ட எடை	$= w - (w_1 - w_2)$ கிராம்.

தக்கையின் ஒப்புச்செறிவு $\rho = \dfrac{w}{w - w_1 + w_2}$.

4. செப்புக் கந்தகப்படிகத்தின் ஒப்புச்செறிவு :—

முதலில், காற்றில் படிகத்தின் எடையைக் கண்டுகொள்க. இப்படிகம் தண்ணீரில் கரையும் பொருள். அதனால் இதைத் தண்ணீரில் தொங்க

விட்டு இதன் எடையைக் காண இயலாது. இதன் ஒப்புச் செறிவைக் காண, இப்படிகம் கரையாததொரு திரவத்தை எடுத்துக்கொண்டு, அதில் இப்படிகத்தைத் தொங்கவிட்டு, இத்திரவத்தில் அதன் நிறையைக் காண்க.

பின்வருமாறு ஒப்புச் செறிவைக் கணக்கிடலாம் :—

காற்றில் படிகத்தின் நிறை $= w$ கிராம்.

திரவத்தில் படிகத்தின் நிறை $= w_1$ கிராம்.

திரவத்தில் குறைவுபட்ட நிறை $= (w - w_1)$ கிராம்.

படிகத்தின் பருமைகொண்ட திரவத்தின் எடை $= (w - w_1)$ கிராம்.

திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு ρ என்றால்,

$$\rho = \frac{\text{படிகத்தின் பருமைகொண்ட திரவத்தின் எடை}}{\text{படிகத்தின் பருமைகொண்ட நீரின் எடை}}$$

ஆகையால் :

$$\text{படிகத்தின் பருமைகொண்ட நீரின் எடை} = \frac{w - w_1}{\rho} \text{ கிராம்.}$$

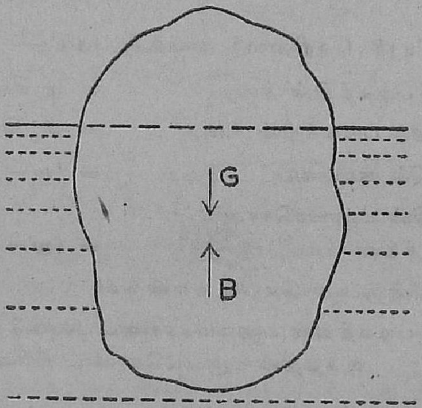
$$\text{படிகத்தின் ஒப்புச்செறிவு} = \frac{w}{w - w_1/\rho} = \frac{w}{w - w_1} \times \rho.$$

படிகத்தின் ஒப்புச்செறிவு

$$\sigma = \frac{\text{படிகத்தின் எடை}}{\text{திரவத்தில் குறைவுபட்ட அதன் எடை}} \times \text{திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு}$$

குறிப்பு :—உபயோகப்படுத்தும் திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு தெரிந்திருக்கவேண்டும். இதன் ஒப்புச் செறிவு தெரியாவிட்டால் அதைச் சோதனை மூலம் கண்டுகொள்ளவேண்டும். கற்கண்டு, செப்புக்கந்தகம் ($CuSO_4$), சாம்பர இரு குருமிகை ($K_2Cr_2O_7$) இவைகள் மண்ணெண்ணெய், கற்பூரத் தைலம் (**Turpentine**) இவைகளில் கரையாத பொருள்களாகும்.

மிதவை விதிகள் (Laws of flotation)



படம் 24

ஒரு பொருள் திரவத்தில் மிதந்தால் அதன் எடைத்தாக்கு செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கி, அதன் கவர்ச்சி மையம் G என்னும் புள்ளியிலிருந்து தொழிற்படுகிறது. இது தவிர, இப்பொருள் வெளியேற்றின திரவத்தின் எடைத்தாக்கு இப்பொருளின்மீது செங்குத்தாக மேனேக்கித் தொழிற்படுகிறது. இத்தாக்குதான் திரவத்தின் உந்து. இது, மிதக்கும் பொருளால் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் கவர்ச்சி மையம் B என்ற புள்ளியில் மேனேக்கித் (படம் 24) தொழிற்படுகிறது. மிதக்கும் பொருள் ஏறி இறங்காமலும், சாயாமலும், நிலையாக இருப்பதால், (1) பொருளின் எடைத்தாக்கு திரவத்தின் உந்துக்குச் சமமாகவும், நேர் எதிராகவும் இருக்கவேண்டும். (2) பொருளின் கவர்ச்சி மையமும், **(centre of gravity)** வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் கவர்ச்சி மையமும், **(centre of buoyancy)** ஒரே செங்குத்தான நேர்கோட்டில் இருக்கும். **விதி 1**-ஐ வேறு விதமாகவும் கூறலாம். அதாவது, பொருளின் எடையும் **(W)** அதனுல் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடையும் சமமாகும். இவைதான் மிதவை விதிகள்.

ρ_1, ρ_2 என்ற ஒப்புச் செறிவுகளை உடைய இரண்டு திரவங்களில் **W** என்னும் எடையைக்கொண்ட ஒரு லேசான பொருளை மிதக்கச்

செய்து, பொருள் திரவங்களுள் அமுங்கின பாகத்தின் பருமங்களை முறையே V_1, V_2 எனக் குறிப்பிட்டால், மேற்சொன்ன முதல் விதிப்படி,

$$W = V_1 \rho_1$$
$$W = V_2 \rho_2.$$

இப்பொழுது V_1, V_2 என்பன, வெளியேற்றப்பட்ட திரவங்களின் பருமங்கள்.

திரவமானிகள் :—(Hydrometers)

திரவங்களின் ஒப்புச்செறிவைக் காண உபயோகிக்கப்படும் கருவிகள் திரவமானிகள் எனப்படும். திரவமானிகள் பலவிதமுள்ளன. அவைகளில்,

1. சோதனைக் குழாய் மிதவை திரவமானி,
2. நிக்கல்ஸன் திரவமானி. இவ்விரண்டும் முக்கியமானவை.

சோதனைக் குழாய் மிதவை திரவமானிகளுள், நிலையியல் திரவமானிகள், மாறியல் திரவமானிகள் என இருவகை உண்டு. ஒரு சோதனைக் குழாயின் எடையை மாற்றி அதைப் பல திரவங்களிலும் ஒரே அளவுக்கு முழுகும்படிச் செய்யலாம். ஒவ்வொரு திரவத்திலும் அதன் எடை மாறும். இவ்விதம் மாறும் எடைகளைக்கொண்டே திரவங்களின் ஒப்புச் செறிவுகளைக் கணக்கிடலாம். சோதனைக் குழாய் மிதவை இவ்விதம் உபயோகப்படுத்தப்பட்டால், இது நிலையியல் திரவமானியாகும். எடையை மாற்றாமல், ஒரு சோதனைக் குழாயைப் பல திரவங்களில் செங்குத்தாக மிதக்கவிட்டால், அது திரவங்களில் வெவ்வேறு அளவுக்கு அமுங்கும். இவ்விதம் மூழ்கும் அளவுகளைக்கொண்டு திரவங்களின் ஒப்புச்செறிவுகளைக் கணக்கிடலாம். ஒரு சோதனைக் குழாய் மிதவை இவ்விதம் உபயோகப்படுத்தப்பட்டால், இது மாறியல் திரவமானியாகும்.

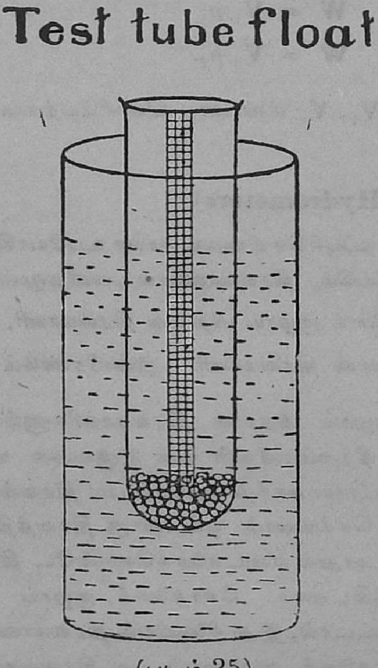
சோதனை :—14.

ஒரு சோதனைக்குழாய் மிதவையை, (1) நிலையியல் திரவமானியாகவும். (2) மாறியல் திரவமானியாகவும் உபயோகித்து, கொடுத்திருக்கும் திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க.

சோதனைக்குழாய் மிதவை :—

ஒரே சீரான குறுக்களவைக்கொண்டதும், தட்டையான அடியையுடையதுமான ஒரு நீண்ட சோதனைக்குழாயை எடுத்து, இதன் உட்புறத்தில் மில்லி மீட்டர் அளவு வரையிடப்பட்ட சதுரத்தாள் துண்டு ஒன்றை

இதன் சூனியப்பிரிவு, குழாயின் தட்டையான அடிப்பாகத்தைத் தொடும் படி ஒட்டவும். இந்தக் குழாயை ஒரு அகன்ற, உயரமான ஜாடியிலுள்ள



(படம் 25)

தண்ணீரில் மிதக்கவிடவும். சோதனைக்குழாய் சாயும். இதைச் சாயாமல் செங்குத்தாக மிதக்கச்செய்ய அதனுள் வேண்டிய அளவிற்கு ஈய ரவைகளை இடவேண்டும். இவ்விதம் செங்குத்தாக மிதக்கவிடப்பட்ட சோதனைக்குழாயே திரவமானியாகும்.

நிலையியல் திரவமானி :—

இரண்டு ஜாடிகளை எடுத்து, ஒன்றில் தண்ணீரையும், மற்றொன்றில் கொடுத்திருக்கும் திரவத்தையும் எடுத்துக்கொள்க. சோதனைக்குழாய் மிதவையைச் செங்குத்தாகத் தண்ணீரில் மிதக்கவிடவும். தண்ணீருள் மூழ்கியுள்ள ஆழத்தை, சதுரத்தாள் துண்டு அளவுகோலில் வாசித்துக் குறித்துக்கொள்ளவும். குழாயை எடுத்து அதன்மேல் ஒட்டிக்கொண் டிருக்கும் தண்ணீரை நன்றாகத் துடைத்துவிட்டு, அதைத் தராசில் இட்டு அதன் எடையைக் காணவும். இதைக் காணும்பொழுது, குழாயில்

உள்ள ஈய ரவைகள் சிதறிப்போகாமல் இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ளுதல் அவசியம். இந்த எடையை "w_1" என வைத்துக்கொள்ளுவோம். பிறகு, குழாயைக் கொடுத்திருக்கும் திரவத்தில் மிதக்கவிட்டு, ஈய ரவைகளை அதிகப்படுத்தியோ குறைத்தோ, குழாயைத் தண்ணீரில் முன்பு மூழ்கின ஆழத்துக்கே மூழ்கச்செய்து, குழாயின் மேல்புறத்தை நன்றாக துடைத்துவிட்டு, முன்போல் தராசில் இட்டு எடையைக் காண்க. இதை w_2 என்று வைத்துக்கொள்ளுவோம்.

இப்பொழுது, தண்ணீரிலும், திரவத்திலும், குழாய் மூழ்கின பாகத்தின் பருமன் ஒன்றே. ஆகவே, வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் பருமையும், வெளியேறின தண்ணீரின் பருமையும் ஒன்றாகும். மிதவை விதிப்படி மிதவைக் குழாயின் எடை, அதனால் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். ஆகையால், வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடை w_2 கிராம். அதே பரும அளவைக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை w_1 கிராம். அதனால் திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு

$$= \frac{\text{ஓரளவு திரவத்தின் எடை}}{\text{அதே பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடை}} = \frac{w_2}{w_1}$$

தண்ணீரில் இதன் எடையை மாற்றி மற்றுமிரு முறை இச்சோதனையைச் செய்து, திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண்க.

2. மாறியல் திரவமானி :—

இத்திரவமானி எடை மாறாதது. திரவத்திலும், தண்ணீரிலும் செங்குத்தாக மிதக்கும்படி ஈய ரவைகளைப் போடவும். முதலில் தண்ணீரில் மிதக்கவிட்டு அதனுள் மூழ்கின பாகத்தின் உயரத்தை சதுரத்தாள் அளவியில் வாசித்துக் குறித்துக்கொள்ளவும். தண்ணீரில் மூழ்கின உயரத்தை h_1 செ. மீ. என்று குறிப்பிடவும். மிதவைக் குழாயின் எடையை மாற்றாமல் அதை திரவத்தில் மிதக்கவிட்டு, மூழ்கின உயரம் h_2-வைக் கண்டு குறிக்கவும். திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு $= \frac{h_1}{h_2}$. இதைக் கணக்கிடுக.

குழாயின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு "a" சதுர செ. மீட்டர் என்று வைத்துக்கொண்டால், தண்ணீரில் மூழ்கின பாகத்தின் பருமனளவு h_1a கன செ. மீட்டர். ஆகையால், வெளியேற்றப்பட்ட தண்ணீரின் பரும அளவு h_1a கன செ. மீட்டர். இதன் எடை $h_1a \times 1$ கிராம். இதுவே, குழாயின் எடையாகும். அதேபோல, குழாயினால் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் பரும அளவு h_2a கன செ. மீ. ஆகும். இதன் எடை $h_2a \times \rho$

கிராம். இதுவே குழாயின் எடையாகும். [இங்கு ρ என்பது திரவத்தின் செறிவாகும்.]

குழாயின் எடை மாறாததால்,

$$h_1 a \times 1 = h_2 a \times \rho.$$

$$\frac{\text{திரவத்தின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}} = \frac{\rho}{1} = \frac{h_1 a}{h_2 a} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{\text{தண்ணீரில் மூழ்கின உயரம்}}{\text{திரவத்தில் மூழ்கின உயரம்}}$$

திரவத்தின் "ஒப்புச் செறிவு"

$$= \frac{h_1}{h_2} = \frac{\text{தண்ணீருள் மூழ்கின உயரம்}}{\text{திரவத்துள் மூழ்கின உயரம்}}$$

இதைக் காண்க. குழாயின் எடையை மாற்றி மற்றுமிரு முறை இச் சோதனையைச் செய்து நிரலிடுக :—

நிரலீடு :—

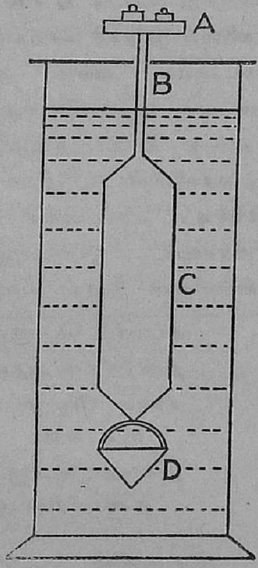
எண்ணிக்கை	தண்ணீரில் மூழ்கின உயரம் h_1 செ. மீட்டர்	திரவத்தில் மூழ்கின உயரம் h_2 செ. மீட்டர்	திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு h_1/h_2

மேற்கூறிய விதம் செய்யும் இரு சோதனைகளிலும் குழாயைத் தண்ணீரிலிருந்து திரவத்திற்கு மாற்றும்பொழுதும், திரவத்திலிருந்து தண்ணீருக்கு மாற்றும்பொழுதும் அதன் மேற்புறத்தை நன்றாகத் துடைத்தல் அவசியம்.

நிக்கல்ஸன் திரவமானி

இது ஒரு நிலையியல் திரவமானி; இது உலோகத்தால் செய்யப்பட்டது. இதன் அமைப்பைப் படத்தில் காணவும்.

C என்பது (படம் 26) கூர் முனைகளைக் கொண்ட ஒரு கூடானஉருளை. D என்பது கனமான ஒரு வாளித்தட்டு. A என்னும் தட்டு உருளை C-யின் மேல் முனையுடன் B என்ற ஓர் மெல்லிய உலோகக் காம்பினால் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இக்காம்பில் B என்ற ஓர் அடையாளக்குறி இடப்பட்டிருக்கும். உருளை அதிகப் பருமைகொண்டிருப்பதால் இத்திரவமானி சாதாரண திரவங்களில் மிதக்கும். வாளித் தட்டு D கனமுள்ளதாக இருப்பதனால் இத்திரவமானி செங்குத்தாக மிதக்கும். உருளையின் பெரும்பாகம் தண்ணீரில் மூழ்கியிருக்கும். சில திரவங்களில் இது சாய்ந்து மிதந்தால். D-யில் வேண்டிய அளவிற்கு ஈயக்குண்டுகளையிட்டுச் செங்குத்தாக மிதக்கச் செய்துகொள்ளவேண்டும். இத்திரவமானியைக்கொண்டு சிறிய கட்டிப்பொருள்கள், திரவங்கள் இவைகளின் ஒப்புச்செறிவுகளைக் காணலாம்.



(படம் 26)

சோதனை 15.

நிக்கல்ஸன் திரவமானியால் ஒரு சிறிய கண்ணாடித் துண்டின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க.

ஒரு உயரமான கண்ணாடி ஜாடியில் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு அதில் திரவமானியை மிதக்க விடவும். ஜாடியின் வாயை ஒரு பிளக்கப்பட்ட அட்டையால் மூடவும். எடைகள் தண்ணீரில் விழாமல் இருக்கவும், அதிக எடையினால் திரவமானி முற்றிலும் தண்ணீரில் மூழ்கிவிடாமல் இருக்கவும் இது மிக அவசியம். எடையைக் கீழ் வாளித் தட்டில் ஒருபொழுதும் வைக்கக்கூடாது. சோதனை செய்யும்பொழுது திரவமானி கண்ணாடி ஜாடியின் உட்புறத்தில் உறையாமல் இருக்கவேண்டும்.

தட்டில் சிறுகச் சிறுக எடைகளையிட்டு திரவமானியை, அதன் காம்பிலுள்ள B என்னும் அடையாளம் வரை தண்ணீரில் மூழ்கச் செய்க. தட்டில் இடப்பட்ட w கிராம் என்னும் எடையைக் கணக்கிட்டு குறிக்கவும். தட்டில் கண்ணாடித் துண்டை இட்டு எடைகளைச் சிறுகச் சிறுக, குறைத்து மறுபடி B என்னும் அடையாளம் வரை, தண்ணீரில் திரவமானியை மூழ்கச் செய்யவும். இப்பொழுது தட்டில் உள்ள w_1 கிராம் எடையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். கண்ணாடித்துண்டின் எடையும், w_1-ம் சேர்ந்து w-க்குச் சமம். கண்ணாடித்துண்டின் எடை $= w - w_1$ கிராம். தட்டிலுள்ளதை எடுத்துவிட்டு, கண்ணாடித்துண்டைக் கீழ் வாளியிலிட்டு, திரவமானி தண்ணீரில் B என்ற அளவுக்கு மூழ்க வேண்டிய எடையைத் தட்டில் சேர்த்து, அந்த எடை w_2-வையும் குறிக்கவும். இப்பொழுது பொருள் தண்ணீரில் மூழ்கியிருக்கிறது. தண்ணீருள் இதன் எடை $w - w_2$ கிராம்.

காற்றில் பொருளின் எடை	$= w - w_1$ கிராம்
தண்ணீரில் அதன் எடை	$= w - w_2$ கிராம்
தண்ணீரில் மூழ்கியதால் குறைவு பட்ட எடை	$= (w - w_1) - (w - w_2)$ கிராம்
அல்லது, பொருளின் பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடை	$= w_2 - w_1$ கிராம்

$$\text{பொருளின் ஒப்புச் செறிவு } \sigma = \frac{w - w_1}{w_2 - w_1}.$$

இதன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் காண்க. பொருள் தண்ணீரில் மிதக்கும் தன்மை உள்ளதானாலும் இதே விதம் அதன் ஒப்புச் செறிவைக் காணலாம். ஆனால், வாளித்தட்டிலிடும்பொழுது, மிதக்கக்கூடிய பொருளை ஒரு நூலினால் வாளித்தட்டுடன் கட்டிவிடவேண்டும்.

சோதனை 16 :—

நிக்கல்ஸன் திரவமானியால், திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க :-
திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவை இரண்டு விதமாகக் காணலாம்.

முதல் வழி :—

தண்ணீரிலும், திரவத்திலும், கரையாத ஒரு சிறு கட்டிப் பொருளை எடுத்துக்கொள். முன் சோதனையில் செய்தபடியே, இப்பொருளின் பருமைகொண்ட தண்ணீரின் எடையைக் காணவும். வாசகங்களை அதே விதமாக குறித்தால் இந்த எடை $w_2 - w_1$ கிராம். மற்றொரு ஜாடியில்

திரவத்தை எடுத்துக்கொண்டு, அதில் திரவமானியை மிதக்கச் செய்யவும். பொருளை மேல் தட்டிலிட்டு திரவமானி B வரை மூழ்க, தட்டில் இட வேண்டிய எடையைக் காண்க. இதை w_3 எனக் கொள்வோம். பொருளை வாளித் தட்டில் இட்டு, திரவமானி அதே B அளவு வரை மறுபடி மூழ்க மேல் தட்டிலிடவேண்டிய எடையைக் காண்க. இதை w_4 என வைத்துக்கொள்ளுவோம். பொருளின் பருமைகொண்ட திரவத்தின் எடை $w_4 - w_3$ கிராம். திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு

$$\rho = \frac{w_4 - w_3}{w_2 - w_1}.\quad \text{அதாவது, } \frac{\text{ஓரளவு திரவத்தின் எடை}}{\text{அதே அளவு தண்ணீரின் எடை}}$$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

இரண்டாவது வழி :

முதலில் திரவமானியின் எடையை அதைத் தராசில் இட்டுக் காண்க. அதை w எனக்குறிக்கவும். பிறகு, திரவமானியைத் தண்ணீரில் இட்டு, அது B என்னும் அளவுக்கு மூழ்க, தட்டில் வைக்கப்பட வேண்டிய எடையை (w_1-ஐ) க்கண்டு குறிக்கவும். பிறகு, திரவமானியைத் தண்ணீரிலிருந்து எடுத்துவிட்டு, நன்முக உதறித்துடைத்துவிட்டு அதைத் திரவத்தில் மிதக்கச்செய்யவும். திரவத்தில் மிதக்கும்போது, தட்டில் எடைகளையிட்டு, திரவமானியை B-அளவு வரை மூழ்கச்செய்து அந்த எடை w_2-வைக் குறித்துக்கொள்க.

தண்ணீரில் மிதக்கும்பொழுது, திரவமானியின் மொத்த எடை $w + w_1$. இது, திரவமானியால் வெளியேற்றப்பட்ட தண்ணீரின் எடையைக் குறிக்கிறது. அதேபோல, திரவமானியால் வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் எடை $w + w_2$. திரவமானி, தண்ணீரிலும், திரவத்திலும் B-என்னும் ஒரே அளவுக்கு மூழ்குவதால், வெளியேற்றப்பட்ட தண்ணீரின் பரும அளவு, வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் பரும அளவுக்குச் சமமாகும். ஆகையால், திரவத்தின்

$$\text{ஒப்புச்செறிவு } \rho = \frac{\text{ஓரளவு திரவத்தின் எடை}}{\text{அதே அளவுதண்ணீரின் எடை}}$$

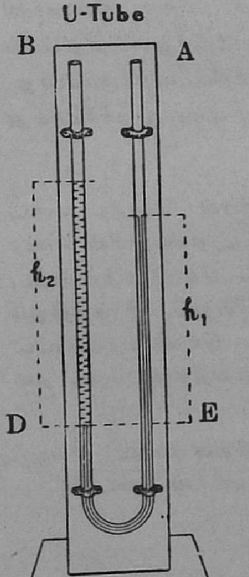
$$\text{அதாவது } \rho = \frac{w + w_2}{w + w_1}.$$

இதைக் கணக்கிட்டு காண்க.

குறிப்பு :— திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு ρ தெரிந்தால் திரவமானியின் எடை w-வை, இப்பரிசோதனை மூலம் சுலபமாகக் கணக்கிடலாம்.

திரவத்தின் அமுக்கம்

நிலையாக நிற்கும், ஒரு திரவத்தினுள் இருக்கும் ஒரு புள்ளியில் திரவத்தின் அமுக்கம் தொழிற்படும். திரவத்தின் செறிவு ρ கிராம்/கன செ. மீ. என்றும், அவ்விடத்தில் பூமிக் கவர்ச்சிக்குரிய முடுக்கம் g செ. மீ /செகண்டு^{2} எனவும் கொண்டால், திரவத்தின் மேற்பரப்பி லிருந்து h செ. மீ. ஆழத்தில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் தொழிற்படும் அமுக்கம் (Pressure) $P = h\rho g$ டைன்கள் (Dynes). இப்புள்ளியின் ஆழம் அதிகமாக அதிகமாக, அதில் தொழிற்படும் அமுக்கமும் அதிகமாகும். நிலையாக உள்ள திரவங்களின் மேற்பரப்பு படுகை மட்டமாக இருக்கும். திரவத்தினுள் ஒரு படுகை மட்டத்தில் இரு புள்ளிகளை எடுத்துக்கொண்டால் அப்புள்ளிகளில் தொழிற்படும் அமுக்கங்கள் ஒன்றேயாகும். இரண்டு திரவங்கள் நேராகவோ, மற்றொரு திரவத்தின் மூலமாகவோ, அல்லது காற்றின் மூலமாகவோ இணைக்கப்பட்டிருந்தாலும் ஒரே படுகை மட்டத்தில் உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளிலும் தொழிற்படும் அமுக்கங்கள் ஒன்றேயாகும். இவ்விதியை உபயோகித்து ஒரு திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காணலாம்.



படம் 27

சோதனை 17 :—

ஒரு U-வடிவக் குழாயினால் மண் எண்ணெயின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க :—

ஒரு நீண்ட கண்ணாடிக் குழாய் படத்தில் காட்டியபடி U-வடிவத்தில் (படம் 27) வளைக்கப்பட்டு, ஒரு செங்குத்தான பலகையின் மேல் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். திரவத்தின் உயரங்களைச் சுலபமாக அளக்க, அப்பலகையின்மேல் அகலமானதும், செ. மீட்டர்கள் குறிக்கப்பட்டதுமான, ஒரு காகித அளவி ஒட்டப்பட்டிருக்கும்.

மண் எண்ணெய் தண்ணீருடன் கலக்காமல் அதன்மேல் மிதக்கும். குழாயினுள் கிளை A-யின் வழியாக தண்ணீரை அதன் பாதி உயரத்திற்கு நிரப்பவும். கிளை B-யில் கொஞ்சம் மண் எண்ணெய்யை ஊற்றவும். எண்ணெய் தண்ணீர் பரப்புக்குமேல் மிதக்கும் திரவத்தின் அமுக்கத்தினுல் கிளை B-யில் தண்ணீர் மட்டம் கீழே இறங்கி, கிளை A-யில் மேலே ஏறும். இவ்விரண்டு திரவங்களின் பரிசப்பரப்பு அல்லது பொதுப்பரப்பு (common level) D-யின் உயர அளவை அளவியில் வாசிக்கவும். இவ்வாசகத்தை p செ. மீ. எனக் கொள்க. பிறகு கிளை A-யில் தண்ணீர் மட்டத்தின் உயர அளவையும், கிளை B-யில் எண்ணெய் மட்டத்தின் உயர அளவையும் வாசித்துக் குறித்துக்கொள்க. இவ்வாசகங்களை முறையே q, r எனக் குறிப்பிடவும். பொதுப்பரப்பு D-யின் படுகை மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரம் $h_1 = q - p$ செ. மீ. எண்ணெயின் உயரம் $h = r - p$ செ. மீ. இவற்றைக் கணக்கிடுக. இவ்வுயரங்களைச் சாதாரண ஒரு அளவியைக்கொண்டும் அளந்துகொள்ளலாம். D, E என்ற புள்ளிகள் ஒரே படுகை மட்டத்தில் உள்ளதால், இவ்விரு மட்டத்திலும் திரவ அமுக்கம் ஒன்றேயாகும்.

E-யில் தண்ணீரின் அமுக்கம் $P_1 = h_1 \rho_1 g$.

D-யில் எண்ணெயின் அமுக்கம் $P_2 = h_2 \rho_2 g$.

$$P_1 = P_2.$$

$$\therefore \quad h_1 \rho_1 g = h_2 \rho_2 g$$

$$h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2.$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}.$$

இங்கு ρ_1, ρ_2 என்பன தண்ணீர், எண்ணெய் இவைகளின் செறிவைக் குறிக்கின்றன. ஆகையால் எண்ணெயின் ஒப்புச்செறிவு $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ ஆகும்.

அதாவது எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு $\frac{h_1}{h_2}$ ஆகும்.

$$\text{ஒப்புச் செறிவு} = \frac{\text{பரிசப்பரப்பின் மேலுள்ள தண்ணீரின் உயரம்}}{\text{அதே பரப்பின் மேலுள்ள எண்ணெயின் உயரம்}}$$

எண்ணெயின் உயரத்தைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக அதிகப்படுத்தி இச் சோதனையை பல முறை செய்து வாசகங்களை நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	பரிசப்பரப்பு D-யின் வாசகம் p செ. மீ.	தண்ணீர் மட்டத்தின் வாசகம் q செ. மீ.	எண்ணெய் மட்டத்தின் வாசகம் r செ. மீ.	D-க்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரம் h_1 செ. மீ. [$h_1 = q - p$]	D-க்குமேல் நிற்கும் எண்ணெயின் உயரம் h_2 செ. மீ. [$h_2 = r - p$]	எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு $\frac{h_1}{h_2}$

$\frac{h_1}{h_2}$-வின் இடை மதிப்பே, எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவாகும்.

சோதனை 18 :—

U-வடிவச் குழாயினால் செப்புக்கந்தக திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க :—

செப்புக்கந்தகத் திரவம் (**Copper sulphate solution**) தண்ணீரில் மிதக்காமல் கலந்துகொள்ளும். ஆகையால், முன் சோதனையில் கண்டபடி, தண்ணீர், செப்புக்கந்தகத் திரவம், ஆகிய இரண்டிற்கும் பரிசப் பரப்பு அல்லது பொதுப் பரப்பு கிடைக்காது. பாதரசத்துடன் இவ்விரண்டு திரவங்களும் கலக்காமல் மிதக்கும். இத்திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண U-வடிவக் குழாயின் இரு கிளைகளிலும் சுமார் 10 செ. மீ. உயரம் நிற்கும்படி கொஞ்சம் பாதரசத்தை ஊற்றவும். இரு கிளைகளிலுமுள்ள ரசத்தின் மேல் பரப்புகள் ஒரே படுகை மட்டத்தில் இருக்கும்.

ஒரு கிளையில் சுமார் 15 செ. மீ. உயரம் நிற்கும்படி செப்புக்கந்தகத் திரவத்தை ஊற்றவும். இத்திரவத்தின் எடையினால் பரிசப் பரப்பு கீழே இறங்கும். மற்றொரு கிளையில் கொஞ்சம் கொஞ்சமாகத் தண்ணீரை

ஊற்றி ரசத்தின் பரப்புகள் ஒரே படுகை மட்டத்தில் இருக்கும்படி செய்யவும். இம்மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரம் h_1-ஐயும், திரவத்தின் உயரம் h_2-ஐயும் அளந்து குறிக்கவும். முன்கண்ட விதிப்படி $h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$.

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

$\frac{\rho_2}{\rho_1}$ என்பது $\frac{\text{திரவத்தின் செறிவு}}{\text{தண்ணீரின் செறிவு}}$. இதுவே, திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு. இதன் மதிப்பு h_1/h_2 ஆகும்.

$$\text{திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு} = \frac{\text{ரசப்பரப்பிற்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரம்}}{\text{ரசப்பரப்பிற்குமேல் நிற்கும் திரவத்தின் உயரம்}} = \frac{h_1}{h_2}.$$

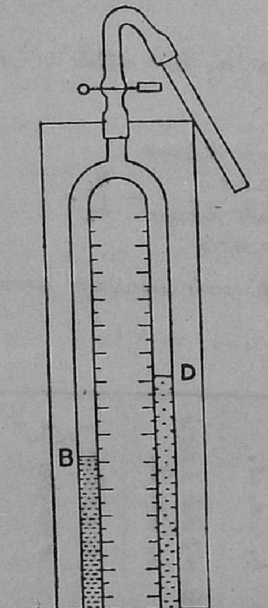
திரவத்தின் உயரத்தை மாற்றி இதன் மதிப்பைப் பலமுறை காணலாம்.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	ரசப்பரப்பின் வாசகம் (செ. மீ.)	தண்ணீரின் மேல்பரப்பின் வாசகம் (செ. மீ.)	திரவத்தின் மேல்பரப்பின் வாசகம் (செ. மீ.)	தண்ணீரின் உயரம் h_1 செ. மீ.	திரவத்தின் உயரம் h_2 செ. மீ.	திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவு $\frac{h_1}{h_2}$
1						
2						
3						

$\frac{h_1}{h_2}$-ன் இடை மதிப்பே திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவாகும்.

ஹேரின் கருவி (Hare's apparatus)



படம் 28

இக்கருவியில் (படம் 28) ஒரு U-கண்ணாடிக் குழாய் செங்குத்தான பலகை ஒன்றில் தலைகீழாகக் கவிழ்த்து பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயின் மேல் பாகத்தில் இதனுடன் மற்றொரு சிறு கண்ணாடிக் குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதில் ஒரு ரப்பர் குழாய் இறுக்கமாக செருகப்பட்டிருக்கிறது. இந்த ரப்பர் குழாய் ஒரு கவ்வியினால் இறுகப் பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இக்கருவியின் அடிப் பாகத்தில் உள்ள ஒரு முனை தண்ணீர் உள்ள ஒரு கண்ணாடிக் குவளையிலும், மற்றொரு முனை ஒப்புச்செறிவைக் காணவேண்டிய திரவத்தை உடைய மற்றொரு கண்ணாடிக் குவளைக்குள்ளும் மூழ்க வைக்கப்பட்டு இருக்கின்றன.

சோதனை 19 :—

ஹேரின் கருவியினால் உப்புக்கரைசல் திரவத்தின் ஒப்புச்செறிவைக் காண்க :—

ரப்பர் குழாயிலுள்ள கவ்வியை (**pinch cock**) சிறிது தளர்த்தி, குழாய் வழியாகச் சிறிது காற்றை உறிஞ்சினால், இரு கிளைகளிலும் திரவங்கள் மேலேறும். அதிகமாகக் காற்றை உறிஞ்சினால் தண்ணீரும், திரவமும் கருவியின் மேல் வளைவில் ஏறி ஒன்றோடொன்று கலந்துவிடும். இவ்விதம் கலக்காமல் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டும். இப்பொழுது கவ்வியை இறுக்கினால், மேலே ஏறிய திரவங்கள் கீழே இறங்காமல் நிற்கும். இக்குழாயிலுள்ள திரவங்களின் மேல் பரப்புகள், குழாயில் தங்கி நிற்கும் காற்றினால் இணைக்கப்பட்டு இருக்கின்றன. ஆகையால் இரு திரவ மட்டங்களின்மீதுள்ள அமுக்கம் ஒன்றேயாகும். பரப்பு **B**-யின்

(படம் 28) மேலுள்ள அமுக்கம், பரப்பு D-யின் மேலுள்ள அமுக்கத்திற்குச் சமம். இவ்வாறே, இரு கிளைகளின் அடிப்பாகத்தில் உள்ள திரவங்கள் குவளைகளிலுள்ள திரவங்களோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குவளைகளில் உள்ள திரவ மட்டத்தின்மேலுள்ள அமுக்கமானது பவன அமுக்கமே. தண்ணீர்க் குவளையில் C-யின் படுகை மட்டத்தில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் தொழிற்படும் அமுக்கம், பவனத்தின் அமுக்கமே. இவ்விதம் திரவக் குவளையில் A-யின் படுகை மட்டத்தில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் தொழிற்படும் அமுக்கம் பவனத்தின் அமுக்கமே. எனவே A-யின் மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் $AB = h_2$ செ. மீ. உயரமுள்ள திரவத்தின் பிழம்பும் (column), C-யின் மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் $CD = h_1$ செ. மீ. உயரம் உள்ள தண்ணீரின் பிழம்பும் ஒரே அமுக்க வேற்றுமையைக் காட்டுகின்றன. h_1 செ.மீ. தண்ணீரின் அமுக்கம் $= h_1\rho_1 g = h_1 \times 1 \times g.$, h_2 செ.மீ. திரவத்தின் அமுக்கம் $= h_2 \times \rho_2 \times g.$ இவ்விரண்டும் ஒரே மதிப்பையுடையன.

$$h_1 \times 1 \times g = h_2 \times \rho_2 \times g.$$

திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு $\dfrac{\rho_2}{1} = \dfrac{h_1}{h_2} = \dfrac{CD}{AB}$

$= \dfrac{\text{குவளை மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரம்.}}{\text{குவளை மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் திரவத்தின் உயரம்.}}$

திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவைக் காண குவளையிலுள்ள தண்ணீர் மட்டத்திற்குமேல் நிற்கும் தண்ணீரின் உயரத்தை [$AB = h_1$ செ. மீ.] ஒரு அளவிச் சட்டத்தால் அளந்து குறிக்கவும். இதே விதம், குவளையிலுள்ள திரவ மட்டத்திற்குமேல் குழாயில் நிற்கும் திரவத்தின் உயரத்தையும் [$CD = h_2$ செ. மீ.] அளவிடுக. h_1, h_2 உயரங்களை மாற்றி பல தடவை இவ்வுயரங்களை அளந்து நிரலிடுக :—

நீரளவீடு :—

எண்ணிக்கை	குவளை மட்டத்திற்குமேல் தண்ணீரின் உயரம் h_1 செ. மீ.	குவளை மட்டத்திற்குமேல் திரவத்தின் உயரம் h_2 செ. மீ.	திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவு $\rho_2 = \frac{h_1}{h_2}$

$\frac{h_1}{h_2}$-வின் இடை மதிப்பே திரவத்தின் ஒப்புச் செறிவாகும்.

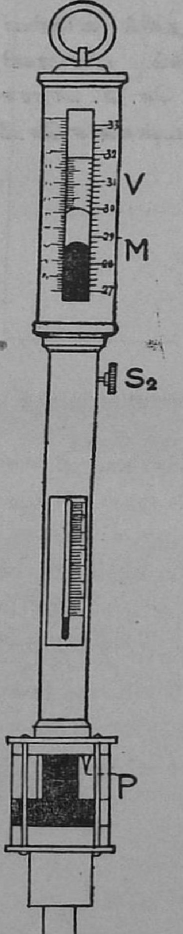
குறிப்பு :—இக்கருவியினுல் தண்ணீருடன் கலக்கக்கூடிய திரவங்களின் ஒப்புச் செறிவுகளையும் காணக்கூடும். மேற்சொன்ன மூன்று சோதனைகளிலும் கருவியின் கிளைகள் ஒரே வெட்டுப்பரப்பைக் கொண்டதாக இருக்கவேண்டுவது அவசியமில்லை (cross-sections need not be the same). தவிர, ஹேரின் கருவிச் சோதனையில் இரு குவளைகளிலுமுள்ள திரவங்களின் மேற்பரப்புகள் ஒரே படுகை மட்டத்தில் இருக்க வேண்டிய அவசியமுமில்லை.

பார்டின் பாரமானி (Fortin's barometer)

சோதனை 20 :—

பார்டின் பாரமானியை உபயோகித்து சோதனைச்சாலையில் பவன அழுக்கத்தைக் காண்க :—

பாரமானியின் அமைப்பு :—



படம் 29

இக்கருவியில் (படம் 29) பாரமானிக் குழாய், ஒரு பித்தளைக் குழாயினுள் இருக்கிறது. இக்குழாயின் அடியிலுள்ள பாதரசத்தொட்டி இப்பித்தளைக் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்தொட்டியின் அடிப் பாகம் தோலாலானது. இத்தோல் பாகத்தை ஒரு திருகின் S_1 உதவியால் ஏற்றி இறக்கலாம். இவ்விதம் தொட்டியில் ரச மட்டத்தை ஏற்றி இறக்க முடியும். பவனத்தின் இறுக்கம் மாறும்பொழுது, குழாயின் ரச மட்டம் ஏறி இறங்கும். இதைப் பித்தளைக் குழாயில் உள்ள ஒரு நீண்ட துவாரத்தின் மூலம் பார்க்க முடியும். இத்துவாரத்தின் இரண்டு ஓரங்களிலும் பிரிட்டிஷ் திட்டத்திலும், மெட்ரிக் திட்டத்திலும் அளவு வரையிடப்பட்டிருக்கும். பிரிட்டிஷ் திட்டத்தில் 27 அங்குலம் முதல், 32 அங்குலம் வரையிலும், மெட்ரிக் திட்டத்தில் 68 செ. மீ. முதல், 84 செ. மீ. வரையிலும் குறிக்கப்பட்டு இருக்கும். பாதரசத் தொட்டியின் மேல்மூடியில் தலைகீழாக ஒரு தந்த முனை பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. இதன் நுனியே இவ்விரு அளவிகளின் சூனியப் பிரிவுகளாகும். தொட்டியின் ரச மட்டத்திற்குமேல் குழாயில் நிற்கும் ரசத்தின் உயரமே பவனத்தின் இறுக்கமாகும். இவ்வுயரத்தை நுட்பமாக அளவிட இந்த அளவிகளுடன் இரு வர்னியர்கள் இருக்கின்றன. இவ்வர்னியர்கள் கொண்ட தகட்டை S_2 என்ற ஒரு திருகைக்கொண்டு மேலும் கீழும் நகர்த்தலாம்.

ரச மட்டத்தின் உயரத்தை அளவிடுமுன், தொட்டியின் அடியில் உள்ள திருகைக்கொண்டு ரச

மட்டம், தந்தமுனையை லேசாகத் தொடும்படிச் செய்யவேண்டும். பிறகு, வர்னியர் தகட்டை ஏற்றி இறக்கி அதன் அடி விளிம்பைக் குழாயில் உள்ள ரச மட்டத்தின் தளத்திற்குக் கொண்டுவரவேண்டும். இப்பொழுது வர்னியரைக்கொண்டு, அளவிகளை வாசித்து ரச மட்டத்தின் உயரத்தை இரு திட்டங்களில் காணவேண்டும். இதுவே பவன இறுக்கம் ஆகும்.

குறிப்பு :—பாரமானியின் வாசகங்களைக் காண முதலில் வர்னியர் களின் கீழ் அளவுத்திறனைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளவேண்டும். பாரமானி யின் வாசகம் 76·2 செ. மீ. ஆனால் பவன இறுக்கம் 76·2 செ. மீ. பாதரச உயரமாகும். இப்பவன இறுக்கம் $76 \cdot 2 \times 13 \cdot 56 \times 980$ டைன்கள்/ச.செ.மீ ஆகும்.

பாயிலின் விதி (Boyle's law)

ஒரு குழாயில் அடைப்பட்டுக்கிடக்கும், வாயுவின் பருமை மாறினல், அதன் இறுக்கமும் மாறும். பருமை குறைந்தால் இறுக்கம் அதிகமாகும். பருமை அதிகமானல் அதன் இறுக்கம் குறையும். பாயிலின் விதி இம் மாறுதலின் தன்மையைக் குறிப்பிடுகிறது. இவ்விதி பின்வருமாறு:—

ஒரே உஷ்ணநிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறைகொண்ட வாயுவின் இறுக்கம், அதன் பருமைக்கு எதிர் விகிதமானது. இறுக்கத்தை P என்றும், பருமையை V என்றும் வைத்துக்கொண்டால் $P \propto \frac{I}{V}$ அல்லது P V ஒரு மாறிலியாகும்.

இவ்விதியின் உண்மையை இரு வழிகளில் பரிசோதித்து நிரூபிக்கலாம்.

சோதனை 21 :—

பாயிலின் விதியை நிரூபித்துக் காட்டுக.

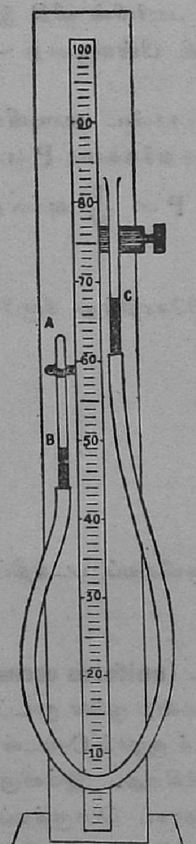
முதல்வழி :—

இவ்விதியைப் பரிசோதிக்க உபயோகப்படும் கருவியைப் படத்தில் காண்க. (படம் 30)

A B என்பது ஒரே குறுக்குப் பரப்பைக்கொண்ட (**uniform cross section**) ஒரு சிறிய கண்ணாடிக் குழாய். இதன் A என்ற முனை மூடப்பட்டிருக்கும். இக்குழாய், மற்றொரு அகன்ற கண்ணாடிக் குழாய் C-யுடன் ஒரு தடித்த ரப்பர் குழாயினல் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவ்விரு குழாய்களும் நிலையானதொரு சட்டத்தில் செங்குத்தாகப் பொருத்தப் பட்டிருக்கின்றன. ஆனல், குழாய் C-ஐ ஏற்றி இறக்கி ஒரு திருகின் உதவியால் அச்சட்டத்தில் எந்த இடத்திலும் பொருத்தி வைக்கமுடியும். இரு குழாய்களினிடையே ஒரு அளவிச்சட்டம் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. ரப்பர் குழாய் முழுவதும், இவ்விரு கண்ணாடிக் குழாய்களின் அடிப்பாகங்களும் பாதரசத்தால் நிரம்பி உள்ளன. AB-யின் மேல்பாகத்தில் நன்முக உலர்ந்த காற்று அடைபட்டிருக்

கிறது. இதுவே, பரிசோதனைக்கு எடுத்துக்கொண்ட குறிப்பிட்ட நிறைகொண்ட வாயுவாகும். AB-யின் வெட்டுவாய் ஒரே அளவைக் கொண்டிருப்பதால் இதில் அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் பருமை, ரச மட்டம் B-க்கு மேலுள்ள இக்குழாயின் நீளம் AB-க்கு ஏற்ப நேராக இருக்கும். அதனால் காற்றின் பருமைக்குப் பதிலாக அந்நீளத்தை அளவிச் சட்டத்தினுதவியால் அளந்துகொள்ள வேண்டும். இறுக்கத்தைக் காண, B, C என்ற ரச மட்டங்களின் வாசகங்களை அளவியில் கண்டு குறிக்கவும். இவ்விரண்டு வாசகங்களுக்கு இடைப்பட்ட செங்குத்தான உயரம் (BC) h செ. மீ. என்றும், பவன இறுக்கத்தை ரச அளவில் H செ. மீ. என்றும் கொண்டால் AB-யிலுள்ள காற்றின் இறுக்கம் $(H \pm h)$ செ.மீ. ரச உயரமாகும். C என்ற ரச மட்டம் B-க்கு மேலே இருந்தால் காற்றின் இறுக்கம் $(H+h)$ ஆகும். இம்மட்டம் B-க்குக் கீழே இருந்தால் காற்றின் இறுக்கம் $(H-h)$ ஆகும். CD என்ற குழாயை மேலும் கீழும் நகர்த்தி, பல இடங்களில் பொருத்தி AB-யிலுள்ள காற்றின் நீளத்தையும், அதன் இறுக்கத்தையும் அளந்து பதிவு செய்துகொள்ளவும். காற்றின் இறுக்கம் $(H+h)$-ஐ P என்றும், காற்றின் நீளத்தை l செ. மீ. என்றும் கொண்டால், பாயிலின் விதிப்படி $P \times l$ ஒரே அளவைக்கொண்டதாக இருக்கும். இதை ஒவ்வொரு தடவையும் கணக்கிட்டுக் காண்க.

Method I



படம் 30

பவன இறுக்கத்தைப் பார்டின் பாரமானியைக்கொண்டு காண்க. இப்பரிசோதனையில் காற்றின் வெப்பநிலை மாறுதிருப்பதைக் குறிக்கவும்.

வாசகங்களை கீழ்க் கொடுத்த விதம் நிரலிடுக :—

நிரலீடு :—

பவன இறுக்கம் = (H =   ) செ. மீ. ரச உயரம்.

அளவியில் A-யின் வாசகம் =   செ. மீட்டர்.

எண்ணிக்கை	B-யின் வாசகம்	காற்றின் நீளம் $AB = l$ செ. மீ.	C-யின் வாசகம்	உயரம் $BC = h$ செ. மீ.	காற்றின் இறுக்கம் $P = H \pm h$ செ. மீ. ரசம்	$P \times l$

$P \times l$ மாறிலியாயிருப்பதைக் காண்க.

ஒரு சதுரத்தாளில் காற்றின் இறுக்கத்தை நிலைதூரத்திலும் **(ordinate)** காற்றின் நீளத்தை இடைதூரத்திலும் **(abscissa)** தகுந்த அளவில் குறித்து ஒரு வரை படம் வரைக.

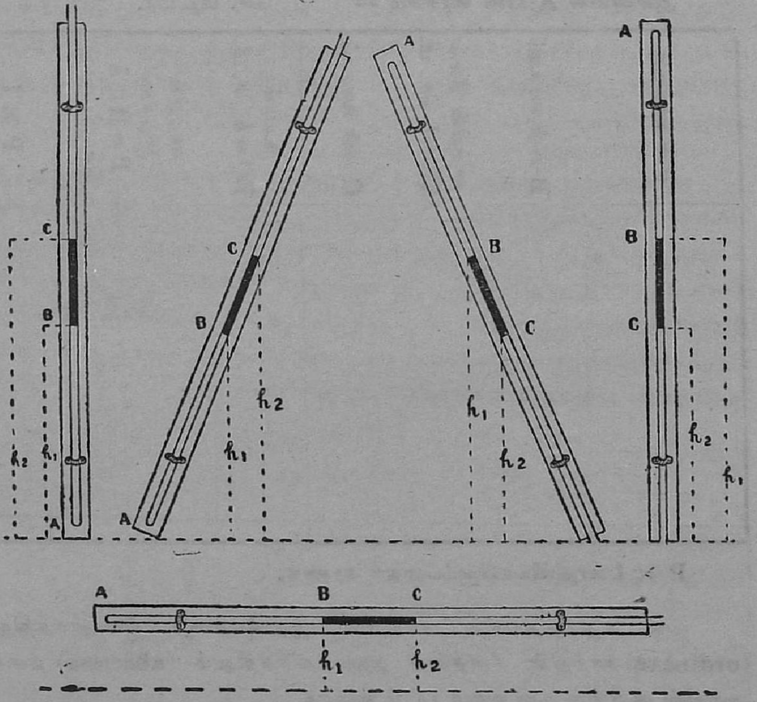
இரண்டாவது வழி :—

இதற்கு உபயோகப்படும் கருவி, மிகவும் எளிய அமைப்பு உடையது (படம் 31).

இதில் சுமார் 100 செ. மீ. நீளமும், 2 மி. மீ. குறுக்களவும், சீரான வெட்டுவாயும் கொண்ட உறுதியான கண்ணாடிக் குழாய் ஒன்று, ஒரு மீட்டர் அளவியுடன் சேர்த்துக் கட்டப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயின் **A** என்ற முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயினுள் சுமார் 20 செ.மீ. நீளமுள்ள **BC** என்னும் ஒரு ரச நிறை செலுத்தப்பட்டிருக்கிறது. **B** என்னும் ரச முனைக்கும் குழாயின் முனை **A**-க்கும் இடையில் ஓரளவு

நன்றாக உலர்ந்த காற்று அடைக்கப்பட்டிருக்கிறது. குழாயைப் பல வேறு நிலைகளிலே வைத்து அடைபட்டிருக்கும் காற்றின் இறுக்கத்தை

Method II



படம் 31

மாற்றலாம். காற்றின் பருமையை அதன் நீளத்தைக்கொண்டு அளவிடலாம்.

முதலில், பவன இறுக்கத்தை (H செ. மீ.) பாரமானியிலிருந்து வாசித்து வைத்துக்கொள்க. குழாயை ஏதாவது ஒரு நிலையில் பொருத்தி வைக்கவும். அளவியின் உதவியால் காற்றின் நீளத்தை ($AB = l$ செ.மீ.) வாசித்துக் குறிக்கவும். மற்றொரு அளவியால் ரச நிறையின் இருமுனைகள் B, C இவற்றின் செங்குத்தான உயரத்தை மேஜைமீதிருந்து அளக்கவும். C-யின் உயரம் h_2 செ. மீ. என்றும், B-யின் உயரம் h_1 செ. மீ. என்றும் எடுத்துக்கொள்ளவும். ரச நிறை BC-யின் நிமிர்வை உயரம்

(**vertical height**) h_2 ல h_1 ஆகும். இதை h செ. மீ. எனக் கொள்ளு வோம். இப்பொழுது, குழாயின் முனை A கீழ்நோக்கி இருந்தால் காற்றின் இறுக்கம் $H+h$ செ. மீ. ரசமாகும். A மேல்நோக்கி இருந்தால் காற்றின் இறுக்கம் $(H-h)$ செ. மீ. ரசமாகும். குழாய், சாய்ந்திராமல் செங்குத்தாக இருந்தால் $h_2-h_1=h$ என்பது ரச நிறை BC யின் நீளமாகும். குழாய் படுகை நிலையில் இருந்தால் $h_2=h_1$. அதனால் $h_2-h_1=0$. இந்நிலையில் குழாயினுள் அடைப்பட்ட காற்றின் இறுக்கம் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாகும்.

குழாயை படத்தில் காட்டியவாறு பல நிலைகளில் வைத்து, ஒவ்வொரு நிலையிலும் காற்றின் நீளத்தையும் [$AB=l$ செ. மீ.] மேஜைத் தளத்திலிருந்து ரச முனைகளின் செங்குத்தான h_1, h_2 என்ற உயரங்களையும் அளந்து குறிக்கவும். இக்குழாயின் நிலைக்கேற்றவாறு, காற்றின் இறுக்கத்தைக் [$P=H \pm h$] கணக்கிடவும். ஒவ்வொரு நிலையிலும் $P \times l$ என்ற பெருக்குத்தொகை ஒரே மதிப்பையுடையதாய் இருப்பதைக் குறிக்கவும். கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக :—

நிரலிடு :—

பவன இறுக்கம் $= H =$ செ. மீ. ரசம்.

எண்ணிக்கை	காற்றின் நீளம் $AB=l$ செ. மீ.	மேஜைமீதிருந்து ரச முனை		$h_2 \backsim h_1=h$ செ. மீ.	காற்றின் இறுக்கம் $H \pm h=P$ செ. மீ. ரசம்	$P \times l$
		B-யின் உயரம் h_1	C-யின் உயரம் h_2			

முதல் சோதனையில் குறிப்பிட்ட விதம் இவ்வாசகங்களைக்கொண்டும் $P-V$ வரை படம் வரைக.

வெப்பவியல்

திடப்பொருள்களின் அகற்சி

(Expansion of solids)

ஒரு திடப்பொருளின் வெப்பநிலையை ஏற்றினால், அதன் நீளம், பரப்பு, பருமை இவை அதிகமாகின்றன. நீளம் அதிகமாகிறது; பரப்பு அகற்சி அடைகிறது; பருமை பெருக்கமடைகிறது. வெப்பநிலையைக் குறைத்தால் இவை சுருங்குகின்றன.

நீட்சிப்பான்மை :—[**Coefficient of leniar expansion**]

வெப்பநிலை t_1° செண்டிகிரேடில் ஒரு உலோகச் சட்டத்தின் நீளத்தை l_1 செ. மீ. எனக் கொள்வோம். இச்சட்டத்தின் வெப்பநிலையை t_2° செ. கி.-க்கு ஏற்றுக. இப்பொழுது இதன் நீளத்தை l_2 செ. மீ. எனக் கொள்வோம். l_1 செ. மீ. நீளமுள்ள இச்சட்டத்தின் வெப்பநிலையை $(t_2-t_1)^\circ$ செ. கி. ஏற்றுவதால் அதன் நீட்சி (l_2-l_1) செ. மீ.

1 செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு சட்டத்தின் வெப்பநிலை 1° செ. கி. ஏறினால், அதன் நீட்சி $\frac{l_2-l_1}{l_1(t_2-t_1)}$ செ. மீ. ஆகும். இந்த நீட்சி $\frac{l_2-l_1}{{}_1(t_2-t_1)} = \propto$, சட்டம் ஆக்கப்பட்ட உலோகத்தின் நீட்சிப்பான்மை எனப்படும் ஓர் மாறிலியாகும் (**constant**).

இலக்கணம் :—

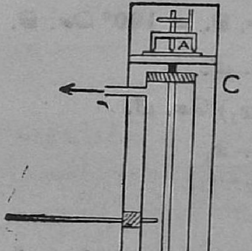
ஓர் அலகு நீளமுள்ள, சட்டத்திற்கு ஒரு பாகை அல்லது ஒரு டிகிரி சூடேற்றுவதால் ஏற்படும் நீட்சியே, அச்சட்டம் ஆக்கப்பட்ட பொருளின் நீட்சிப்பான்மையாகும்.

சோதனை (22) :—

ஒரு உலோகச் சட்டத்தின் நீட்சிப்பான்மையைக் காண்க :—
(கோளமானி முறை)

இம்முறையில் ஒரு சட்டத்திற்குச் சூடு ஏற்றுவதால் ஏற்படும் நீட்சி ஒரு கோளமானியால் அளவிடப்படுகிறது. இதற்கு உபயோகப்படும் கருவியைப் படத்தில் காணலாம். (படம் 32)

A B என்பது ஓர் உலோகச் சட்டம். இச்சட்டம் **C D** என்ற ஒரு தகரக் கூட்டினுள் செருகப்பட்டிருக்கிறது. இக்கூட்டின் இரண்டு வாய்களும் துவாரமுள்ள தக்கைகளினால் அடைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இத்துவாரங்களின் வழியாக, சட்டத்தின் இருமுனைகளும் வெளியே சிறிது நீட்டிக்கொண்டு இருக்கின்றன. இக்கூடு நிமிர்வை நிலையில் ஒரு மரச் சட்டத்தில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கீழ்முனை, மரச்சட்டத்தின் அடிப்பீடத்தில் ஊன்றி நிற்கிறது. படுக்கைத் தளத்தில் ஒரு சிறிய பலகை உள்ளது. இதிலுள்ள ஒரு துவாரத்தின் வழியாக உலோகச் சட்டத்தின் சமதள மேல் முனை கொஞ்சம் மேலே நீட்டிக்கொண்டு இருக்கிறது. படுக்கைத்தளத்திலுள்ள பலகையின்மேல் ஒரு கோளமானியை வைத்து, அதன் திருகின் முனையைச் சட்டத்தின் தட்டையான முனையை இலேசாகத் தொடச் செய்து, கோளமானியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். அறையின் உஷ்ண நிலையை (t_1° செ. கி.) ஒரு வெப்பமானியைக் கொண்டு காண்க. இதுவே உலோகச் சட்டத்தின் வெப்பநிலையாகும். உலோகச் சட்டத்தின் தகரக் கூட்டினுள் உள்ள பாகத்தின் நீளத்தை



படம் 32

(l செ. மீ.) ஒரு மீட்டர் அளவியால் அளந்து குறிக்கவும். பிறகு, தகரக் கூட்டினுள், அதன் அடிப்பாகத்தில் உள்ள ஒரு சிறு குழாய் மூலம் நீராவியைப் புகச் செய்யவும். இந்நீராவி, விருவிருப்பாகக் கூட்டின் மேல்புறம் உள்ள மற்றொரு குழாய் மூலம் வெளியே செல்லவேண்டும். நீராவி, உலோகச் சட்டத்தின் வெப்பநிலையைக் கொஞ்சம் கொஞ்சமாக ஏறச் செய்கிறது. சிறிது நேரத்தில் (15 நிமிடங்களில்) உலோகச்

சட்டத்தின் வெப்பநிலை, நீராவியின் வெப்பநிலையை ($t_2° = 100°$ செ. கி.) அடைந்துவிடும். சட்டத்தின் வெப்பநிலை அதிகரிப்பதால், அதன் நீளம் சிறிது அதிகரிக்கும். சட்டம் கீழ்முனையில் பொருந்தியிருப்பதால், மேல் நோக்கித்தான் நீளும். கோளமானியை மறுபடி சரியாகப் பொருத்தி வைத்து அதன் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்க. கோளமானியின் இரண்டு வாசகங்கட்குள்ள வித்தியாசமே, சட்டத்தின் மொத்த நீட்சி ஆகும். வாசகங்களைத் தொகுத்தெழுதி, உலோகச் சட்டத்தின் நீட்சிப் பான்மையைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

கோளமானியின் கீழ் அளவுத்திறன்	=
உலோகச் சட்டத்தின் நீளம்	$= l$ செ. மீ.
உலோகச் சட்டத்தின் முன் வெப்பநிலை	$= t_1°$ செ. கி.
கோளமானியின் முதல் வாசகம்	$= x_1$ செ. மீ.
நீராவியின் வெப்பநிலை	$= t_2°$ செ. கி. $= 100°$ செ. கி.
கோளமானியின் பின் வாசகம்	$= x_2$ செ. மீ.
உலோகச் சட்டத்தின் நீட்சி	$= (x_2 - x_1)$ செ. மீ.
உலோகச் சட்டத்தின் நீட்சிப்பான்மை	$\propto = \dfrac{x_2 - x_1}{l\,(t_2 - t_1)}$

இதைக் கணக்கிடுக.

குறிப்பு :—கோளமானியின் வாசகங்கள் மி. மீட்டரில் இருப்பதால், x_1, x_2 இவைகளை செ. மீட்டராக்கி குறித்துக்கொள்ளவேண்டும்.

திரவங்களின் பருமைப் பெருக்கம்
(Expansion of Liquids)

திரவங்களும் சூடேற்றினுல், பருமைப் பெருக்கம் அடைகின்றன. ஆனுல், திரவங்களுக்கு திடப்பொருள்களைப்போல் நிலையான உருவம் இல்லை. அவை வைக்கப்பட்டிருக்கும் பாத்திரங்களின் உருவே திரவங்களின் உருவாகும். ஒரு பாத்திரத்தில் திரவமொன்றை எடுத்துக்கொண்டு சூடேற்றினுல் திரவத்தின் பருமையுடன், பாத்திரத்தின் பருமையும் பெருகுகிறது. ஆகையால் நமக்கு இதிலிருந்து கிடைக்கும் பெருக்கம் தோற்றப் பெருக்கமே (**apparent expansion**) ஆகும். இதன் தனிப் பெருக்கம் (**absolute or true expansion**) திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்கம், பாத்திரத்தின் பெருக்கம் ஆகிய இவ்விரண்டின் கூட்டுத் தொகை ஆகும்.

இலக்கணம் :—

திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்கத் துணகம் :— (Coefficient of apparent expansion)

ஓர் அலகு பருமைகொண்ட (unit volume) திரவத்தின் வெப்ப நிலை ஒரு டிகிரி உயர்வதால் ஏற்படும் தோற்றப் பெருக்கமே இதன் தோற்றப்பெருக்கத் துணகமாகும்.

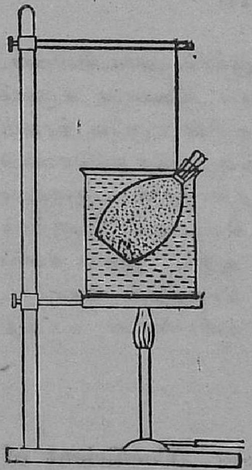
சோதனை (23) :—

தேங்காய் எண்ணெயின் தோற்றப்பெருக்கத் துணகத்தைக் காண்க :—

நன்ருக உலர்ந்த ஒரு ஒப்புச்செறிவுக் கலயத்தின் எடை [w_1] யைக் காணவும். மூடியை எடுத்துவிட்டு, கலயத்தில் தேங்காய் எண்ணெயை முழுதும் நிரப்பி மறுபடி மூடியால் வாயை மூடவும். கலயத்தினுள் காற்றுக் கொப்புளங்கள் இல்லாமல் இருக்கவேண்டும். கலயத்தின் மேற்புறத்தை நன்ருகத் துடைத்துவிட்டு மறுபடி அதன் எடை [w_2] யைக் காண்க. தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்பநிலையை ஒரு வெப்பமானியைக் கொண்டு கண்டு குறித்துக்கொள். இது $t_1°$ செ. கி. ஆக இருக்கட்டும். இக்கலயத்தை ஒரு கயிற்ருல் கட்டி தண்ணீர் நிரம்பிய ஒரு பாத்திரத்திற்குள் தொங்கவிடவும். (படம் 33).

செறிவுக் கலயத்தின் கழுத்து தண்ணீர் மட்டத்திற்குமேல் இருத்தல் நலம். இத்தண்ணீரைப் புன்சன் அடுப்பைக்கொண்டு சூடேற்றிக்

கொதிக்கச் செய்யவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை ஏற ஏற, செறிவுக் கலயத்தில் உள்ள எண்ணெயின் வெப்பநிலையும் ஏறும். ஆகையால், எண்ணெயின் பருமை பெருகி மூடித் துவாரத்தால் வெளிவரும். இப்படிப் பெருகி வெளிவரும் எண்ணெயைத் தண்ணீரில் மிதக்கவிடாமல், உறிஞ்சுத்தாளால் ஒற்றி எடுக்கவும். தண்ணீர் கொதித்துக்கொண்டே இருக்கவேண்டும். சிறிது நேரத்தில் எண்ணெய் பெருகி வழிவது நின்றுவிடும். இப்பொழுது, எண்ணெயின் எல்லாப் பாகமும், கொதிக்கும் தண்ணீரின் வெப்பநிலையை அடைந்துவிட்டன என்று தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். கொதிக்கும் தண்ணீரின் வெப்பநிலையைக் கண்டுகொள்க. பெருக்கம் நின்றவுடன், கலயத்தை வெளியே எடுத்து, நன்ருகத் துடைத்து ஆறவைக்கவும். நன்ருக ஆறியவுடன், கலயத்தின் எடை [w_3] யைக் காண்க. கிடைத்த வாசகங்களை வரிசையாகக் குறித்து எண்ணெயின் தோற்றப் பெருக்கக் குணகத்தை கணக்கிடுக.



படம் 33

வாசகங்கள் :—

உலர்ந்த காலிச் செறிவுக் கலயத்தின் எடை	$w_1 =$
எண்ணெய் முழுதும் நிரம்பிய பிறகு, கலயத்தின் எடை	$w_2 =$
ஆரம்பத்தில் எண்ணெயின் வெப்பநிலை	t_1° செ. கி. =
கொதி தண்ணீரின் வெப்பநிலை	t_2° செ. கி. =
ஆறவைத்த பிறகு எண்ணெயுடன் கலயத்தின் எடை	$w_3 =$
பெருகி வழிந்த எண்ணெயின் எடை	$(w_2 - w_3) =$
சோதனைக்குப் பிறகு கலயத்திலுள்ள எண்ணெயின் எடை	$(w_3 - w_1) =$
வெப்பநிலை ஏற்றம் (Rise of temperature)	$(t_2^\circ - t_1^\circ)$ செ.கி. =

எண்ணெயின் தோற்றப்பெருக்கக் குணகம் $a = \dfrac{w_2 - w_3}{(w_3 - w_1)\,(t_2 - t_1)}$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

வாயுப்பொருள்களின் பெருக்கம்
(Expansion of Gases)

வாயுக்கள் தங்களுக்குக் கிடைத்த இடம் முழுவதிலும் வியாபிக்கும் தன்மையுள்ளன. ஒரு வாயுவைச் சூடேற்றினால், அதன் பருமை மாறுவதோடல்லாமல் அதன் இறுக்கமும் மாறும். ஆகையால் வாயுக்களின் பெருக்கத்தை இருவகையில் பரிசோதித்து அறியவேண்டும்:— (1) இறுக்கம் மாறாதிருக்கும்போது, வாயுவின் பெருக்கக் குணகம் (**Volume coefficient at constant pressure**); (2) பருமை மாறாதிருக்கும் போது அதன் இறுக்கக் குணகம் (**Pressure coefficient at constant volume**). தவிர, சூடேற்றினால், வாயுக்களின் பருமைப் பெருக்கமும், இறுக்கப் பெருக்கமும் திடப்பொருள், திரவப்பொருள் இவற்றைவிட மிக அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால், இக்குணகங்களைக் காண 0° செ. கி.-ல் உள்ள வெப்பநிலையில் பருமை அல்லது இறுக்கம் இவற்றைப் பிரமாணமாகக்கொண்டு (**Standard**) கணக்கிடுதல் வேண்டும்.

1. மாற இறுக்கப் பருமைப் பெருக்கக் குணகம் :—

இலக்கணம் :—

ஒரு வாயுவின் இறுக்கம் மாறாதிருக்க, அதன் வெப்பநிலை 0° செ. கி.-யிலிருந்து 1° செ. கி.-க்கு ஏறுவதால் ஏற்படும் பருமைப் பெருக்கத்திற்கும் 0° செ. கி. நிலையில் அவ்வாயுவின் பருமைக்கும் உள்ள தகவே (**Ratio**) அதன் பருமைப் பெருக்கக் குணகமாகும்.

0° செ. கி. வெப்பநிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமை V_0 எனக் கொள்ளுவோம்.

1° செ. கி. வெப்பநிலையில் அதே வாயுவின் பருமை V எனக் கொள்ளுவோம்.

பருமைப் பெருக்கம் $V - V_0$

பருமைப் பெருக்கக் குணகம் $\dfrac{V - V_0}{V_0} = a$

$$\therefore \quad V_0\, a = V - V_0$$
$$V = V_0 + V_0\, a = V_0(1 + a)$$

t_1° செ. கி. வெப்பநிலையில் அவ்வாயுவின் பருமை V_1 ஆனால் $V_1 = V_0\,(1 + a\,t_1)$.

2. மாறப்பருமை இறுக்கக் குணகம் :—

இலக்கணம் :—

ஒரு வாயுவின் பருமை மாறாதிருக்க அதன் வெப்பநிலை 0° செ. கி.-லிருந்து 1° செ. கி.-க்கு ஏறுவதால் ஏற்படும் இறுக்க மிகுதிக்கும் (increase of pressure), 0° செ. கி. நிலையில் அதன் இறுக்கத்திற்கும் உள்ள தகவே அவ்வாயுவின் மாறப்பருமை இறுக்கக் குணகமாகும்.

மாறாத பருமைகொண்ட, ஒரு குறித்த எடை வாயுவின் இறுக்கம் 0° செ. கி.-ல் P_0 என்றும் 1° செ. கி.-ல் P என்றும், $t_1°$ செ. கி.-ல் P_1 என்றும் வைத்துக்கொண்டால், மாறாப்பருமை இறுக்கக் குணகம்

$$\beta = \frac{P - P_0}{P_0} \qquad \text{தவிர,}\ P_1 = P_0 (1 + \beta t_1)$$

பாயிலின் விதிக்குக் கட்டுப்படும் எல்லா வாயுக்களுக்கும் இவ்விரு குணகங்களும் ஒன்றேயாகும். இதன் மதிப்பு $\alpha = \beta = \cdot 00366 = \frac{1}{273}$ ஆகும்.

சோதனை (24) :—

காற்றின் மாற இறுக்கப் பருமைப் பெருக்கக் குணகத்தைக் காண :—

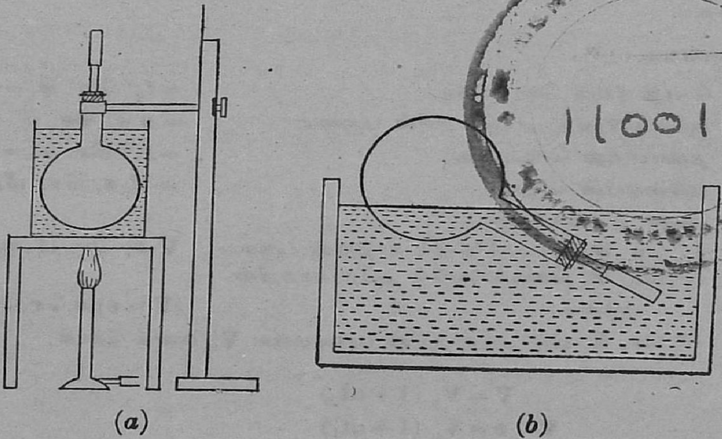
வட்ட வடிவு அடியையுடைய ஒரு கண்ணாடிக் குடுவையின் வாயை ஒரு துவாரத்தைக்கொண்ட ரப்பர் அடைப்பானால் இறுக மூடவும். சிறியதொரு ரப்பர் குழாயுடன் கூடின குட்டையான கண்ணாடிக் குழாய் துண்டொன்றை இத்துவாரத்தில் செருகவும். காற்று உள்ளே புகாமலும், வெளியே வராமலும் இம்மூடிகள் இறுக்கமாக இருக்கவேண்டும். தவிர இச்சோதனைக்கு உபயோகப்படும் கண்ணாடிக் குடுவை நன்றாக உலர்ந்து இருக்கவேண்டும்.

இக்குடுவையைப் படத்தில் கண்டபடி (படம் 34-a) ஒரு கண்ணாடிக் குவளையிலுள்ள தண்ணீரில் அமுக்கி வாலையின் இறுக்கியால் (Retort clamp) நிறுத்தி வைக்கவும்.

கண்ணாடிக் குவளையில் உள்ள தண்ணீரைச் சூடேற்றிக் கொதிக்க வைக்கவும். சுமார் 15 நிமிடங்களுக்கு நன்றாகக் கொதிக்கவேண்டும். இக்கொதி நீரின் வெப்பநிலை $t_2°$ செ. கி.-ஐக் கண்டு குறிக்கவும். இதுவே குடுவையினுள் இருக்கும் காற்றின் உஷ்ணநிலை ஆகும். தவிர, இக்

C N52
110011

காற்றின் பருமை, குடுவையின் பருமை (V க. செ. மீ.)-யே ஆகும். அதோடு, குடுவையின் வாய் திறந்திருப்பதால் இக்காற்றின் இறுக்கம



(*a*) (*b*)

படம் 34

பவனத்தின் இறுக்கமாகும். இப்பொழுது ஒரு கவ்வியால் (**Pinch cock**) ரப்பர் குழாயைக் கெட்டியாக மூடி, குடுவையைக் கொதி நீரிலிருந்து எடுத்து, தண்ணீருள்ள ஒரு பெரிய தொட்டியில் தலைகீழாகக் கவிழ்க்கவும். குடுவையின் வாய் நன்றாகத் தண்ணீர் மட்டத்திற்குக்கீழ் இருக்க வேண்டும். குடுவையின்மேல் தண்ணீரை விட்டு, அதனுள் இருக்கும் காற்றை தண்ணீரின் வெப்பநிலை [t_1° செ. கி.]க்குக் குளிரவைக்கவும். வாய் மூடப்பட்டு இருப்பதாலும், வெப்பநிலை குறைவதாலும் இக்காற்றின் இறுக்கம் குறைந்துவிடும். ரப்பர் குழாயின் வாயைத் தண்ணீருக்குள்ளேயே வைத்துக் கவ்வியை எடுத்துவிடவும். தொட்டியிலிருந்து கொஞ்சம் தண்ணீர் குழாயின் மூலம் குடுவைக்குள் பாயும். குடுவையைச் சாய்த்தும், மேலும் கீழும் நகர்த்தியும், குடுவையுள் இருக்கும் நீர்மட்டத்தைத் தொட்டியில் உள்ள நீர்மட்டத்தில் (படம் 34-*b*) நிறுத்திவைக்கவும். இப்பொழுது, இதனுள் இருக்கும் காற்றின் இறுக்கம், பவன இறுக்கமாகும். இந்நிலையில் ரப்பர் குழாயின் வாயைக் கைவிரல்களால் மூடி, குடுவையை வெளியே எடுத்து, அதனுள்ளிருக்கும் நீரின் பருமையை (v க. செ. மீ.) ஒரு அளவு ஜாடியினால் காணவும். குடுவையைத் தண்ணீரால் நிரப்பி அதன் பருமையை (V க. செ. மீ.) அளக்கவும். தொட்டித் தண்ணீரின் வெப்பநிலையை (t_1° செ. கி.)-க் காண்க. t_2° செ. கி. வெப்பநிலையிலும், t_1° செ. கி. வெப்பநிலையிலும் குடுவைக்குள் இருக்கும் காற்றின் இறுக்கம் மாறாமல் பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாக இருக்கும்

படி செய்யப்பட்டிருப்பது குறிக்கத்தக்கது. வாசகங்களைத் தொகுத்து எழுதி காற்றின் மாரு இறுக்கப் பருமைப் பெருக்கக் குணகத்தைக் காணவும்.

வாசகங்கள் :—

கொதி நீரின் வெப்பநிலை	$= t_2$° செ. கி. =
குடுவையினுள் பாய்ந்த நீரின் பருமை	$= v$ க. செ. மீ. =
தண்ணீரின் வெப்பநிலை	$= t_1$° செ. கி. =
குடுவையின் பருமை	$= V$ க. செ. மீ. =
பவன இறுக்கத்தில்,	
t_2° செ. கி. வெப்பநிலையில் காற்றின் பருமை	V க. செ. மீ. =
t_1° செ. கி. வெப்பநிலையில் அதே காற்றின் பருமை	$(V - v)$ க.செ.மீ. =

0° செ. கி.-யில் அக்காற்றின் பருமையை V_0 எனக் கொள்.

$$V = V_0 (1 + at_2)$$

$$V - v = V_0 (1 + at_1)$$

$$\frac{V - v}{V} = \frac{1 + a\, t_1}{1 + a\, t_2}$$

$$a = \frac{v}{(V - v)\, t_2 - Vt_1}$$

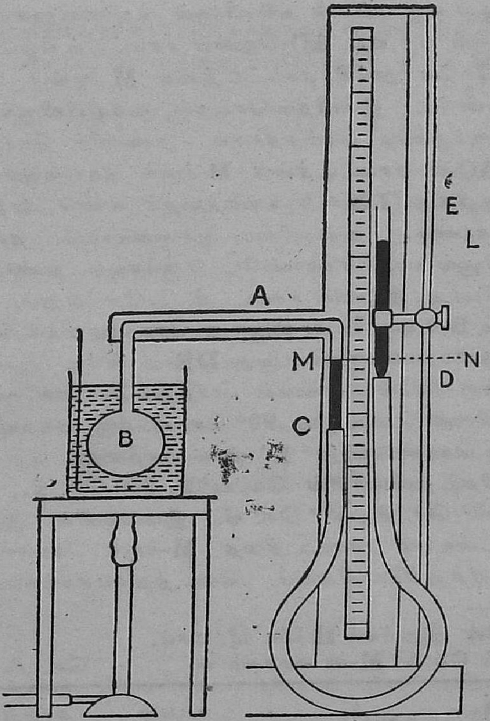
a — காற்றின் மாரு இறுக்கப் பருமை பெருக்கக் குணகமாகும். இதைக் கணக்கிட்டுக் குறிக்கவும்.

சோதனை (25) :—

பருமை மாறதிருக்கும்பொழுது காற்றின் இறுக்கக் குணகத்தைக் காண்க :—

இச்சோதனைக்குச் சாதாரணமாக, உபயோகப்படும் கருவியின் அமைப்பைப் படத்தில் காண்க. (படம் 35)

இதில் B என்ற கண்ணுடிக் குமிழும் (bulb) AC என்ற கண்ணுடிக் குழாயும் சேர்த்து ஒன்ருகச் செய்யப்பட்டவை. இக்குழாயின் முனை C, மற்ருெரு குழாய் DE-யுடன் ஒரு தடித்த ரப்பர் குழாயினுல் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவையெல்லாம், ஒரு செங்குத்தான, மரத்தாங்கு காலின்மீது படத்தில் காட்டியவாறு, பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. DE என்ற குழாயை மேலும் கீழும் நகர்த்தி ஒரு திருகின் உதவியால் எந்த இடத்திலும் பொருத்திவைக்க முடியும். இக்குழாய்களின் அடிப்பாகங்களும் ரப்பர் குழாய் முழுவதும் பாதரசத்தால் நிரம்பி இருக்கின்



படம் 35

றன. குழாய் AC-யில் M என்ற இடத்தில் ஒரு கோடு படுக்கைவாக்கில் கீறப்பட்டு இருக்கிறது.

B என்ற குமிழை, ஒரு கண்ணடி அல்லது செப்புக்குவளையிலுள்ள தண்ணீருக்குள் அமுக்கி வைக்கவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலையை ஒரு வெப்பமானியால் கண்டு குறித்துக்கொள்ளுக. ரசமட்டம், M என்ற கோட்டைத் தொடும்படி குழாய் DE-ஐ ஏற்றி இறக்கிச் சரியான இடத்தில் வைக்கவும். மீட்டர் அளவியில் ரசமட்டங்கள் M, L இவற்றின் சரியான வாசகங்களைக் கண்டுகுறித்துக்கொள்க. இவ்விரண்டிற்குமுள்ள இடைப்பட்ட உயரம் [LM], h செ. மீ. என்ருல் B-யில் உள்ள காற்றின் இறுக்கம் $H \pm h$. H என்பது, பவனத்தின் இறுக்கம். இதைப் பார்டின் பாரமானியிலிருந்து கண்டுகொள்ளவேண்டும். ரசமட்டம் L, M-க்கு மேலே இருந்தால், காற்றின் இறுக்கம் $H + h$ செ. மீ. ரசமாகும். இது M-க்குக் கீழே இருந்தால், காற்றின் இறுக்கம் $H - h$ செ. மீ. ரசமாகும்.

இப்பொழுது ஒரு புன்சன் அடுப்பினால் குவளையிலுள்ள தண்ணீரை சூடாக்கவும். சூடு ஏற ஏற, AC-யிலுள்ள ரசமட்டம் கீழ்நோக்கி இறங்கும். DE-ஐ மேலே தூக்கி ரசமட்டத்தை M என்ற கோட்டிற்குக் கொண்டுவரவேண்டும். இவ்விதம் செய்தல், குமிழியிலிருக்கும் காற்றின் பருமை மாறாதிருக்கும்படி செய்ததாகும். தண்ணீர் கொதிக்கும்போது DE-ஐ ஏற்றி AC-ல் ரசமட்டத்தை M-க்குக் கொண்டுவரவும். L-ன் வாசகத்தைக் குறித்து [LM = h] உயரத்தைக் கண்டு காற்றின் இறுக்கம் $H \pm h$-ஐ காண்க. தண்ணீரை ஆறவைக்கவும். தண்ணீரை ஒரு செப்புக் கம்பியினால் கலக்கிக்கொண்டே இருக்கவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை குறையும்போது, AC-யில் ரசமட்டம் மேலே ஏறும். கவனிக்காமலிருந்தால் ரசம் B-க்குள் போய் விழுந்து சோதனையைக் கெடுத்துவிடும். தண்ணீரைக் குளிர வைக்கும்பொழுது DE-ஐ கீழே இறக்கி AC-யில் ரசமட்டம் M-க்கு மேலே போகாமல் பார்த்துக்கொள்ளவேண்டியது அவசியம். தண்ணீரின் வெப்பநிலை 90° செ. கி.-க்கு வந்தவுடன், ரசமட்டத்தை M-க்கு கொண்டுவந்து 'L'-ன் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். இதே விதம் தண்ணீரின் வெப்பநிலை 80° செ. கி., 70° செ. கி., 60° செ. கி., 50° செ. கி., 40° செ. கி. இவைகளில் இருக்கும்போது ஒவ்வொரு தடவையும் ரசமட்டத்தை M-க்குக் கொணர்ந்து 'L'-ன் வாசகத்தை குறித்துக்கொள்ளவும். கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக.

நிரலீடு :—
பவனத்தின் இறுக்கம் H செ. மீ. ரசம்.
அளவியில் கோடு M-ன் வாசகம் = செ. மீ.

எண்ணிக்கை	வெப்பநிலை ° செ. கி.	ரசமட்டம் 'L'-ன் வாசகம்	உயரம் ML = h செ. மீ. ரசம்	காற்றின் இறுக்கம் P = (H ± h) செ.மீ. ரசம்
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

இந்நிரலீட்டில் உள்ள வாசகங்களைக்கொண்டு, காற்றின் இறுக்கக் குணகத்தின் மதிப்பை இருவிதமாகக் கணக்கிட்டுக் காணலாம்.

முதல் வழி :—

அறையின் சூடு $t_1°$ செ. கி. எனக் கொள்வோம். இவ்வெப்பநிலையில் காற்றின் இறுக்கம் நிரலீட்டில் இருந்து P_1 எனக் கொள்ளுவோம். கொதி நீரின் வெப்பநிலை $t_2°$ செ. கி.-ல் காற்றின் இறுக்கம் P_2 எனக் கொள்வோம். காற்றின் இறுக்கக் குணகத்தை β என்று குறித்தால், முன் சொன்னபடி,

$$P_2 = P_0\,(1 + \beta t_2).$$

$$P_1 = P_0\,(1 + \beta t_1).$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1 + \beta t_2}{1 + \beta t_1}.$$

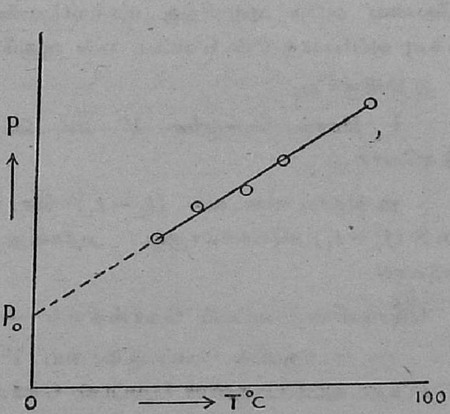
$$\beta = \frac{P_2 - P_1}{P_1 t_2 - P_2 t_1}.$$

நிரலீட்டிலிருந்து t_1, t_2, P_1, P_2 இவைகளைக் கண்டு இவ்வாய்பாட்டில் உபயோகித்து β-வைக் கணக்கிடுக.

இரண்டாவது வழி :—

ஒரு சதுரத் தாளில் காற்றின் இறுக்ககம் P-ஐ நிலை தூரத்திலும் **(ordinate Y-axis)** வெப்பநிலையைக் கிடை தூரத்திலும் **(X-axis)** தகுந்த அளவில் குறித்து ஒரு வரை படம் வரைக. இது ஒரு நேர்கோட்டைக் கொடுக்கும்.

இக்கோட்டைக் கீழ் பக்கம் நீட்டி நிலை அச்சை சந்திக்கச் செய்யவும். நிலையச்சில், இச்சந்திப்புப் புள்ளியின் வாசகம் 0° செ. கி.-ல் காற்றின் இறுக்கத்தை $[P_0]$-க் கொடுக்கும்.



படம் 26

இப்படத்திலிருந்து கொதித் தண்ணீர் வெப்பநிலை $t_2°$ செ. கி.-ல் காற்றின் இறுக்கம் P_2-வைக் கண்டு குறித்து β-வைக் கணக்கிடுக.

$$P_2 = P_0(1 + \beta t_2)$$

அல்லது. $$\beta = \frac{P_2 - P_0}{P_0 t_2}.$$

கலோரி அளவை (Calorimetry)

இலக்கணம் :—

ஒரு வெப்ப அலகு :—(**Unit quantity of heat**)

ஒரு கிராம் தண்ணீரின் வெப்பநிலையை 1° செ. கி. ஏற்றவேண்டிய வெப்பம் ஓர் அலகு வெப்பமாகும். இந்த அலகு வெப்பத்திற்குக் கலோரி (**calorie**) *என்று பெயர்.*

ஒரு பொருளின் சுய வெப்பம் (வெப்ப எண்) (**Specific heat**)

ஒரு பொருளின் சுய வெப்பம், ஒரு கிராம் எடையுள்ள அப்பொருளின் வெப்பநிலையை 1° செ. கி. ஏற்றுவதற்கு வேண்டிய வெப்பமேயாகும். இவ்வெப்பம் S கலோரி ஆனால், பொருளின் சுய வெப்பம் S ஆகும்.

மற்றொரு விதமாகவும் இதன் இலக்கணத்தைக் கூறலாம்.

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையைக் குறித்த அளவுக்கு மாற்றவேண்டிய வெப்பத்திற்கும், அதே எடைகொண்ட தண்ணீரின் வெப்பநிலையை அதே அளவிற்கு மாற்றவேண்டிய வெப்பத்திற்கும் உள்ள தகவு அப்பொருளின் வெப்ப எண் ஆகும்.

இதிலிருந்து,

1 கிராம் பொருளை 1° செ. கி. சூடாக்கவேண்டிய வெப்பம் S கலோரி.

m கிராம் எடையை $(t_2-t_1)^\circ$ செ. கி. சூடாக்கவேண்டிய வெப்பம் $mS(t_2-t_1)$ கலோரியாகும். அதாவது, வெப்பம் $Q=mS(t_2-t_1)$ கலோரி.

பொருளின் வெப்பம் கோள்திறன் :—(**Thermal capacity**).

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை 1° செ. கி. ஏற்ற, வேண்டிய வெப்பம் அப்பொருளின் வெப்பம் கோள்திறனாகும்.

பொருளின் சமநீர் எடை :—(**Water equivalent**)

ஒரு பொருளின் சமநீர் எடை, அப்பொருளுக்குச் சமமான வெப்பம் கோள்திறனையுடைய தண்ணீரின் எடையாகும்.

1 கிராம் பொருளை 1° செ. கி. சூடேற்றவேண்டிய வெப்பம் S கலோரி.
m கிராம் பொருளை 1° செ. கி. சூடேற்றவேண்டிய வெப்பம் mS கலோரி.

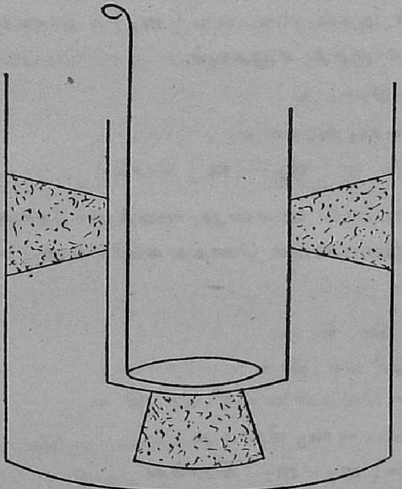
1 கிராம் தண்ணீரை 1° சூடேற்ற 1 கலோரி தேவை. mS கலோரி

யினால் mS கிராம் தண்ணீரை 1° சூடேற்றலாம். m கிராம் பொருளை 1° செ. கி. சூடேற்ற வேண்டிய வெப்பத்தைக்கொண்டு mS கிராம் தண்ணீரை அதே 1° செ. கி. சூடேற்றலாம்.

அதாவது m கிராம் எடையுள்ள பொருளின் சமநீர் எடை mS கிராம் ஆகும்.

கலோரிமீட்டரின் அமைப்பும், அதை உபயோகிக்கும் முறையும் :—

கலோரிமீட்டர் என்பது (படம் 37) ஒரு செப்புக்குவளை. இதன் வெளிப்பாகம் பளபளப்பாக இருத்தல்வேண்டும். இதனுள், எடுத்துக் கொள்ளும் திரவத்தைக் கலக்க ஒரு செப்புக்கம்பித் துடுப்பு இருக்கும். இக்குவளையும், செப்புத் துடுப்பும் சேர்ந்ததுதான் கலோரி மீட்டர் ஆகும். இக்குவளையை மற்றொரு குவளைக்குள் வைக்க வேண்டும். இரு குவளைகளும், தக்கைகள் அல்லது பஞ்சு இவற்றை இடைவெளியில் வைத்து ஒன்றையொன்று தொடாமல் செய்யவேண்டும். வெளிக்குவளையின் உட்பாகமும் பளபளப்பாக மெருகுடன் இருக்க வேண்டும். இவ்விதம் கலோரி மீட்டரை உபயோகிப்பதால், வெப்ப ஒளி கதிர் வீச்சால் ஏற்படும் வெப்ப நஷ்டத்தை வெகுவாகக் குறைக்க முடிகிறது. ஆகையால் கலோரி மீட்டரை இவ்விதம் உபயோகித்தல் மிக்க அவசியம்.



படம் 37

சோதனை (26) :—

கொடுத்த கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடையைக் காண்க :—

காலி கலோரிமீட்டரின் எடையை $[m]$-க் காண்க. பிறகு அதில் பாதி அளவுக்குத் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு, தண்ணீருடன் கலோரி மீட்டரின் எடையைக் காணவும் $[m_1]$. எடுத்துக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை $[m_1 - m]$ கிராம். ஒரு வெப்பமானியைக்கொண்டு, கலோரி மீட்ட

ரில் உள்ள தண்ணீரின் வெப்பநிலை [t_1°c]-யைக் காணவும், கலோரி மீட்டரை வெளிக்குவளைக்குள் வைக்கவும்.

ஒரு பாத்திரத்தில் தண்ணீர் எடுத்து அதை சுமார் 50° செ. கி.-க்குச் சூடேற்றவும். இத்தண்ணீரைக் கலக்கி அதன் சரியான வெப்பநிலையை [t_2° செ. கி.]-க் கண்டு குறித்துக்கொள்க. இத்தண்ணீர் குளிருவதற்கு முன் கலோரி மீட்டரில் $\frac{3}{4}$ பாகம் ஊற்றி நன்றாகக் கலக்கவும். கலோரி மீட்டரில் உள்ள தண்ணீரின் வெப்பநிலை ஏறும். வெப்பமானியை இத் தண்ணீரில் வைத்து வெப்பநிலை ஏறுவதைக் கவனித்து இக்கலவை அடைந்த உச்சவெப்பநிலையை [t° செ. கி.]-க் கண்டு குறிக்க. கலோரி மீட்டரில் தண்ணீர் குளிர்ந்தவுடன் அதன் எடையை [m_2]-க் காண்க. வாசகங்களைக் கீழ்க்கொடுத்தபடி தொகுத்து எழுதவும்.

காலிகலோரிமீட்டரின் எடை $= m$ கிராம் =
பாதி தண்ணீருடன் அதன் எடை $= m_1$ கிராம் =
எடுத்துக்கொண்ட தண்ணீரின் எடை $= [m_1 - m]$ கிராம் =

கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடையை w என்று வைத்துக்கொண்டால், தண்ணீர், கலோரி மீட்டர், இவைகளின் மொத்த சமநீர் எடை $= [w + m_1 - m]$ கிராம் =

இவற்றின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_1$° செ. கி =
சூடான தண்ணீரின் வெப்பநிலை $= t_2$° செ. கி =
கலோரிமீட்டரின் கலவையின் உச்ச வெப்பநிலை = t° செ. கி =
கலவையுடன் கலோரிமீட்டரின் எடை $= m_2$ கிராம் =
கலந்த சூடான தண்ணீரின் எடை $= [m_2 - m_1]$ கிராம் =

$[w + m_1 - m]$ கிராம் தண்ணீரின் வெப்பநிலை t_1° செ. கி. நிலையிலிருந்து t° செ. கி. நிலைக்கு ஏறுகிறது. இதற்குவேண்டிய வெப்பம் $[w + m_1 - m][t_1 - t]$ கலோரிகள். இவ்வெப்பத்தைக் கலோரிமீட்டர் அதனுள் கலந்த சூடான தண்ணீரிலிருந்து எடுத்துக்கொள்கிறது.

$[m_2 - m_1]$ கிராம் தண்ணீரின் வெப்பநிலை t_2° செ. கி. வெப்பநிலையிலிருந்து t° செ. கி. வெப்பநிலைக்குக் குறைகிறது. ஆகையால் இத் தண்ணீர் இழக்கும் வெப்பம் $[m_2 - m_1][t_2 - t]$ கலோரிகள். வெப்பம் வேறுவிதமாக நஷ்டப்படவில்லை எனக்கொண்டால், சூடான தண்ணீர் இழந்த வெப்பம் முழுமையையும் கலோரிமீட்டர் ஏற்றுக்கொண்டது எனக்கொள்ளலாம். இதற்காகத்தான் கலோரிமீட்டரை வெளிக் குவளைக்குள் ஆரம்பத்தில் கூறியபடி வைக்கவேண்டும்.

$$[w+m_1-m]\ [t-t_1]=[m_2-m_1]\ [t_2-t]$$

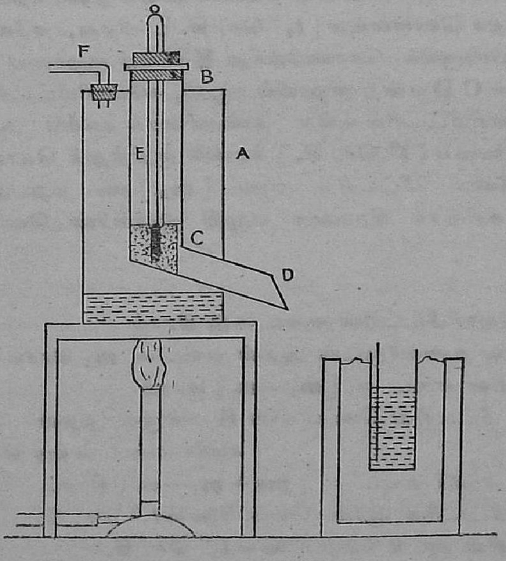
இதில் கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடை w ஒன்று தான் தெரியாதது. மற்றவை தெரிந்தவை. wவைக் கணக்கிடுக. கலோரி மீட்டரின் சமநீர் எடை w கிராம் தண்ணீராகும்.

சோதனை 27 :—

இரும்பின் சுயவெப்பம் அல்லது வெப்ப எண்ணைக் காண்க.

இச்சோதனையில் முன்சோதனையில் செய்ததுபோல் சிறிய இரும்புத் துண்டு ஒன்றைக் குறித்த அளவு வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்றி, குறித்த அளவு தண்ணீரைக்கொண்ட கலோரி மீட்டரில் போட்டுக்கலக்கி அவற்றின் வெப்பநிலை மாறுதலைக் கணக்கிடவேண்டும். உபயோகிக்கும் திடப் பொருளைச் சூடாக்கிக் கலோரிமீட்டரில் போடும்பொழுது, அதன் வெப்பநிலை குறைந்துவிடும். இதனால் கொஞ்சம் வெப்ப நஷ்டம் ஏற்படும். இந்நஷ்டத்தைக் குறைக்க ஒரு பிரத்தியேகமானசாதனம் உபயோகிக்கப் படுகிறது. இதன் அமைப்பைப் படத்தில் காண்க. (படம் 38.)

இதில் **B C D** என்ற செப்புக்குழாய் ஒன்று **A**-என்ற ஒரு செப்புக் குவளையின் மத்தியில் பொருத்தப்பட்டு இருக்கிறது. இக்குழாயின்



படம்—38

பாகம் **B C** செங்குத்தாகவும், **C D**-கீழ்நோக்கிச் சாய்ந்தும் இருக்கிறது. **E** என்ற மற்றொரு குழாய் **B C**-யில் செருகப்பட்டிருக்கிறது. இதன்

இருமுனைகளும் திறந்திருக்கின்றன. இதன் அடிமுனை, C என்ற வளை வில் பொருந்தும்படி அதற்கேற்ப அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சோதனைக் குப் பொருளை சிறு தூள்களாக எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். இரும்பின் சுயவெப்பம் அல்லது வெப்ப எண்ணைக்காண ஆணிகள் கொஞ்சம் (சுமார் 50 கிராம்) எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். இவற்றை E என்ற குழாயில் போட்டு அதன் வாயைத் தக்கையினுல் மூடவும். தக்கையில் உள்ள துவாரத்தில் ஒரு வெப்பமானியைச் சொருகி ஆணிகளை இலேசாகத் தொடும்படிச் செய்யவும். குவளையில் கொஞ்சம் தண்ணீரை ஊற்றி அதைக் கொதிக்கச்செய்யவும். B C D என்ற குழாய் கொதி நீராலும், நீராவியாலும் சூழப்பட்டிருக்கிறது. குழாயினுள் ஆணிகள் நீராவியின் வெப்பநிலைக்கு ஏறுகிறது.

சோதனை ஆரம்பிக்குமுன் ஆணிகளை இவ்விதம் சூடேற்றவும். காலி கலோரி மீட்டரின் எடையை [m] க்கண்டு அதில் பாதி பாகம் தண்ணீர் எடுத்து மறுபடியும் அதன் எடையை [m_1] க்காணவும். கலோரி மீட்டரை வெளிக்குவளைக்குள் இட்டு கானல் படாமல் தூரத்தில் வைத்து அதன் வெப்பநிலையை [$t_1°$ செ. கி] க்கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். ஆணியின் வெப்பநிலை, நீராவியின் வெப்பநிலையை அடைந்தபிறகு அதைக் கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும் [$t_2°$ செ. கி.]. பிறகு, கலோரிமீட்டரை D-என்ற வாயினருகில் கொண்டுவந்து E என்ற குழாயை மேலே தூக்கவும். ஆணிகள் C D என்ற குழாயில் நழுவி, கலோரிமீட்டரில் சடுதியில் விழும். கலோரிமீட்டரில் உள்ள தண்ணீரைக் கலக்கி அது அடைந்த உச்ச வெப்பநிலையை [$t°$ செ. கி.] க்கண்டு குறித்துக் கொள்ளவும். இப் பொழுது கலோரி மீட்டரின் எடை [m_2] யை மறுபடி காணவும். வாசகங்களை வரிசைக் கிரமமாக எழுதி இரும்பின் வெப்ப எண்ணைக் காணவும்.

வாசகங்கள் :—

காலி கலோரிமீட்டரின் எடை $= m$ கிராம் =

பாதியளவு தண்ணீருடன் அதன் எடை $= m_1$ கிராம் =

தண்ணீரின் எடை $= [m_1 - m]$ கிராம் =

கலோரி மீட்டரின் வெப்ப எண் S என்றால் அதன்
சமநீர் எடை $= ms$ கிராம் =

மொத்த சமநீர் எடை $= [ms + m_1 - m]$ கிராம் =

கலோரிமீட்டரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_1°$ செ. கி. =

ஆணிகளின் சூட்டு வெப்பநிலை $= t_2°$ செ. கி. =

கலவையின் உச்சவெப்பநிலை $= t°$ செ. கி. =

கலோரிமீட்டர், ஆணிகள், தண்ணீர் இவற்றின்
மொத்த எடை $= m_2$ கிராம் =

ஆணிகளின் எடை $= [m_2 - m_1]$ கிராம் =

ஆணியின் வெப்ப எண் S என்றால், ஆணி இழந்த வெப்பம் = $[m_2 - m_1]\ S \times [t_2 - t]$ கலோரிகள்.

கலோரி மீட்டர் ஏற்ற வெப்பம் $= [ms + m_1 - m][t - t_1]$ கலோரிகள்.

இவையிரண்டும் சமம்.

$$[m_2 - m_1]\ S \times [t_2 - t] = [ms + m_1 - m][t - t_1]$$

இதில் S ஒன்று தான் தெரியாதது. அதை கணக்கிட்டுக் காண்க. இரும்பின் வெப்ப எண் S ஆகும்.

சோதனை (28) :—

தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக் காண்க :—

இதை இருவிதமாகச் செய்யலாம்.

முதல்வழி :—

கலோரிமீட்டரில் தண்ணீருக்குப் பதிலாக, பாதியளவு எண்ணெயை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். வெப்ப எண் $[s_1]$ தெரிந்த ஒரு திடப்பொருளை எடுத்துச் சூடாக்கி முன் சோதனையில் செய்தபடி எண்ணெயைக்கொண்ட கலோரிமீட்டரில் போடவேண்டும். மற்றபடி எல்லாம் முன் சோதனையில் கண்டவாறே செய்து வாசகங்களைக் குறித்து எண்ணெயின் வெப்ப எண் S-ஐக் கணக்கிடுக.

வாசகங்கள் :—

காலி கலோரிமீட்டரின் எடை $= m$ கிராம் =

கலோரிமீட்டர் + எண்ணெய் இதன் எடை $= m_1$ கிராம் =

எண்ணெயின் எடை $= [m_1 - m]$ கிராம் =

கலோரிமீட்டரின் வெப்ப எண் s ஆனால் கலோரி மீட்டரின் சமநீர் எடை $= ms$ கிராம் =

எண்ணெயின் வெப்ப எண் S ஆனால், (தெரியாது) எண்ணெயின்சமநீர் எடை $[m_1 - m]$ S கிராம் =

கலோரிமீட்டரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_1°$ செ. கி. =

திடப்பொருளின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_2°$ செ. கி. =

கலவையின் உச்ச வெப்பநிலை $= t°$ செ. கி. =

கலோரிமீட்டர், எண்ணெய் திடப்பொருள் இவற்றின் எடை $= m_2$ கிராம் =

திடப்பொருளின் எடை $= [m_2 - m_1]$ கிராம் =

திடப்பொருளின் சமநீர் எடை $= [m_2 - m_1]\ s_1$ கிராம் =

திடப்பொருள் இழந்த வெப்பம் = $[m_2 - m_1]\ s_1 \times [t_2 - t]$ கலோரிகள்.

கலோரி மீட்டர், எண்ணெய் இவை ஏற்ற வெப்பம் =

$$[ms+(m_1-m)\,S][t-t_1]$$ கலோரிகள்.

இவை இரண்டும் சமம்.

$$[m_2-m_1]\,s_1\times[t_2-t_1]=[ms+(m_1-m)\,S]\,[t-t_1].$$

இதில் S ஒன்றுதான் தெரியாதது. இதைக் கணக்கிட்டு காண்க. S எண்ணெயின் வெப்ப எண்.

இரண்டாவது வழி :—

கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடையைக் காண, சூடேற்றின தண்ணீரைக் கலோரிமீட்டரில் ஊற்றி உச்ச வெப்பநிலையைக் கண்டோம். அதே விதம், இச்சோதனைக்கு எண்ணெயைச் சுமார் 50° செ. கி.-க்குச் சூடேற்றி, அதில் கொஞ்சம் குறித்த அளவு தண்ணீரைக்கொண்டக் கலோரிமீட்டரில் ஊற்றி வெப்பநிலை மாற்றத்தை கவனிக்கவும். எடுக்க வேண்டிய வாசகங்களின் விபரம் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது :—

காலிகலோரிமீட்டரின் எடை $= m$ கிராம்

கலோரிமீட்டர் + பாதியளவு தண்ணீர்—இதன் எடை $= m_1$ கிராம்

தண்ணீரின் எடை $= (m_1-m]$ கிராம்

கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடை $= ms$ கிராம்

(s என்பது கலோரி மீட்டரின் வெப்ப எண்)

மொத்தச் சமநீர் எடை $= [ms+m_1-m]$ கிராம்

கலோரி மீட்டரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_1^\circ$ செ. கி.

எண்ணெயின் சூட்டு வெப்பநிலை $= t_2^\circ$ செ. கி.

கலவையின் உச்ச வெப்பநிலை $= t^\circ$ செ. கி.

கலோரிமீட்டர் + தண்ணீர் + எண்ணெய் இவற்றின் எடை $= m_2$ கிராம்

எண்ணெயின் எடை $= [m_2-m_1]$ கிராம்

எண்ணெயின் வெப்ப எண் S எனக் கொண்டால்,

எண்ணெய் இழந்த வெப்பம் $=[m_2-m_1]\,S\times[t_2-t]$ கலோரிகள்.

கலோரிமீட்டர் ஏற்ற வெப்பம் $=[ms+m_1-m]\,[t-t_1]$ கலோரிகள்.

இவை இரண்டும் சமம்.

$[m_2-m_1]\,S\,[t_2-t]=[ms+m_1-m]\,[t-t_1]$ இதிலிருந்து எண்ணெயின் வெப்ப எண் S-ஐக் கணக்கிடுக.

நிலைமாற்றம் [Change of state]

ஒரு கண்ணாடிக் குவளையில் தண்ணீர் எடுத்து அதைப் புன்சன் அடுப்பினால் சூடேற்றினால், தண்ணீரின் வெப்பநிலை கொஞ்சம் கொஞ்சமாக ஏறி 100° செ. கி-ஐ அடையும். இந்நிலையில் தண்ணீர் கொதிக்க ஆரம்பிக்கும். இத்தண்ணீரை இன்னும் சூடேற்றினால் அதன் வெப்பநிலை மாறாமல் 100° செ. கி—லேயே நிற்கும். ஆனால், தண்ணீர் கொதிநிலையில் ஆவியாக மாறிக்கொண்டிருக்கிறது. புன்சன் அடுப்பிலிருந்து கொடுக்கப்படும் வெப்பமானது தண்ணீரின் வெப்பநிலையை ஏற்றாமல், தண்ணீரை ஆவியாக மாற்றுவதில் உபயோகப்படுகிறது. இந்த வெப்பத்தை வெப்பமானியால் காணமுடியாது. ஆகையால் இந்த வெப்பம் ஆவியில் மறைவாக இருக்கிறது எனத்தெரிகிறது. இதற்குக் " கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பம் " (**Latent heat of vapourisation**) எனப் பெயர்.

இலக்கணம் :—

கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பம் .—

ஒரு கிராம் எடை திரவத்தை அதன் கொதி நிலையில் ஆவியாக மாற்ற, வேண்டியவெப்பம் அதன் கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பமாகும்.

ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பம் L கலோரியானால், M கிராம் எடை திரவத்தை அதன் கொதிநிலையில் ஆவியாக மாற்ற வேண்டிய வெப்பம் ML கலோரியாகும். இத்திரவத்திற்கு வெப்ப எண் S எனவும் இதன் கொதிநிலை t_2° செ. கி. எனவும் கொண்டால், இத்திரவத்தின் M கிராம் எடையை t_1° செ. கி. நிலையிலிருந்து கொதிநிலைக்குச் சூடேற்றி t_2° செ. கி. நிலையில் ஆவியாக மாற்ற வேண்டிய வெப்பம் $MS\,(t_2 - t_1) + M\,L$ கலோரிகளாகும்.

இதேபோல் பனிக்கட்டியை தூளாக்கி ஒரு புனலிலிட்டு, அதற்குள் ஒரு வெப்பமானியை வைத்து, அதன் வெப்பநிலை மாற்றத்தைக் கவனித்தால், பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலை மாறாமல் 0° செ. கி—லேயே நிற்கும். ஆனால் பனிக்கட்டி விடாமல் பவனத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்று தண்ணீராக உருகுகிறது. பவனத்திலிருந்து ஏற்றுக்கொண்ட வெப்பம் முழுவதும் பனிக்கட்டியைத் தண்ணீராக உருக்குவதில் செலவாகிறது. இவ்வெப்பம் தண்ணீரில் உள்ளுறை வெப்பமாக இருக்கிறது. இதற்கு உருகுநிலை உள்ளுறை வெப்பம் (**Latent heat of fusion**) எனப்பெயர்.

இலக்கணம் :—

உருதுநிலை உள்ளுறை வெப்பம் :-

ஒரு கிராம் எடை திடப்பொருளை அதன் உருது நிலையில் திரவமாக மாற்ற, வேண்டிய வெப்பம் அதன் உருதுநிலை உள்ளுறை வெப்பமாகும்.

பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை உள்ளுறை வெப்பம் L கலோரியானல், M கிராம் பனிக்கட்டியை அதன் உருகுநிலையில் [0° செ. கி.] திரவமாக மாற்ற வேண்டிய வெப்பம் ML கலோரியாகும்.

தண்ணீருக்கு சுயவெப்பம் அல்லது வெப்ப எண் (specific heat) S=1 ஆகையால், M கிராம் பனிக்கட்டியை 0° செ. கி. நிலையில் உருக்கி அதன் வெப்ப நிலையை t° செ. கி-க்கு எற்றவேண்டிய வெப்பம் ML + Mt கலோரிகளாகும்.

சோதனை 29 :—

பனிக்கட்டியின் உருதுநிலை உள்ளுறை வெப்பத்தை (Latent heat of fusion of ice)க் காண்க.

காலிக்கலோரிமீட்டர் ஒன்றின் எடை [m] யைக் காணவும். அதில் பாதிக்குமேல் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு மறுபடி அதன் எடை [m_1] யைக் காணவும். கலோரிமீட்டரை வெளிக்குவளைக்குள் இட்டு அதனுள்ளிருக்கும் தண்ணீரின் வெப்பநிலையை [$t_1{}^{\circ}c$]க் கண்டுகுறிக்கவும்.

ஒரு பனிக்கட்டியைச் சிறுசிறு துண்டுகளாக உடைத்து ஒவ்வொரு துண்டாக எடுத்து உறிஞ்சு தாளில் வைத்து அதன்மேல் உருகி ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் தண்ணீரைத் துடைத்துவிட்டுக் கலோரிமீட்டரில் போட்டுக் கலக்கவும். இத்துண்டு தண்ணீரில் மிதக்கும். அதைச் சல்லடைத்துடுப்பு ஒன்றுல் தண்ணீர் மட்டத்திற்குள்ளேயே இருக்கச் செய்யவேண்டும். இப்பனிக்கட்டித் துண்டு உருகி தண்ணீரின் வெப்ப நிலை இறங்கும். முதலில் போட்டகட்டி முழுதும் உருகுவதற்குள் இரண்டாவது கட்டியை உறிஞ்சுதாளில் ஒற்றிப்போடவேண்டும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை சுமார் 3° செ. கி. இறங்கியவுடன் பனிக்கட்டி போடுவதை நிறுத்தி கலோரிமீட்டரை நன்ருகக் கலக்கி தண்ணீர் அடைந்த அதம வெப்பநிலையைக் [Minimum temperature] t° செ. கி. கண்டு குறிக்க. இப்பொழுது கலோரிமீட்டரின் எடை [m_2] யைக் காண்க. வாசகங்களை வரிசையாக எழுதிப் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

வாசகங்கள் :—

காலிக்கலோரிமீட்டரின் எடை	$= m$ கிராம்	=
பாதியளவு தண்ணீருடன் எடை	$= m_1$ கிராம்	=
தண்ணிரின் எடை....................	$= [m_1 - m]$ கிராம்	=
கலோரிமீட்டரின் சமநீர் எடை	$= ms$ கலோரிகள்	=
கலோரிமீட்டரின் மொத்தச் சமநீர் எடை	$= [ms + m_1 - m]$ கிராம்	=
கலோரிமீட்டரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை	$= t_1^\circ$ செ. கி	=
பனிக்கட்டியின் வெப்பநிலை	$= 0^\circ$ செ. கி.	=
கலோரிமீட்டரின் அதம வெப்பநிலை	$= t^\circ$ செ. கி.	=
கலோரிமீட்டர், தண்ணீர், உருகின பனிக்கட்டி இவற்றின் எடை	$= m_2$ கிராம்	=
உருகின பனிக்கட்டியின் எடை	$= [m_2 - m_1]$ கிராம்	=

$[m_2 - m_1]$ கிராம் பனிக்கட்டி 0° செ. கி. நிலையில் உருகுவதற்கு வேண்டிய வெப்பம் $[m_2 - m_1]$ L கலோரிகள்.

$[m_2 - m_1]$ கிராம் உருகின பனிக்கட்டி 0° செ. கி. நிலையிலிருந்து t° செ. கி. நிலையை அடைய வேண்டிய வெப்பம் $[m_2 - m_1]\, t$.

பனிக்கட்டி ஏற்ற மொத்த வெப்பம் $[m_2 - m_1]\, t + [m_2 - m_1]$ L கலோரிகள்.

கலோரிமீட்டர், தண்ணீர், இவை t_1° செ. கி. நிலையிலிருந்து t° செ. கி. நிலைக்கு இறங்க, இழந்த வெப்பம் $[ms + m_1 - m]\,[t_1 - t]$ கலோரிகள்.

இவை இரண்டும் சமம்.

$$[m_2 - m_1]\,L + [m_2 - m_1]\,t = [ms + m_1 - m]\,[t_1 - t]$$

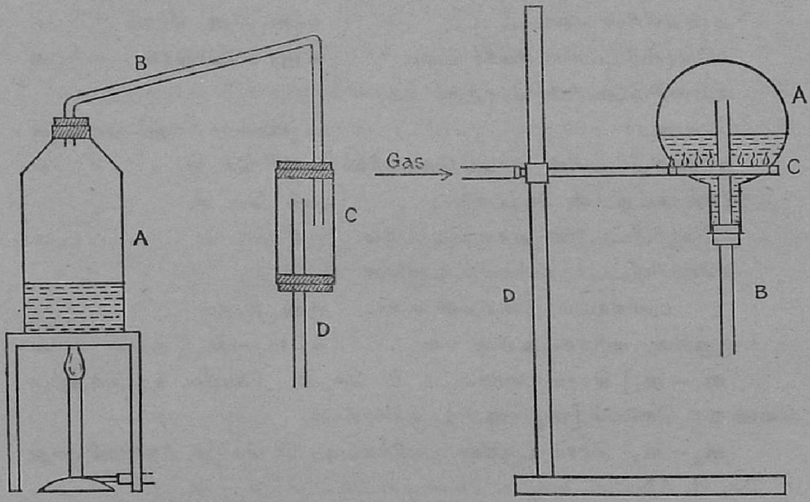
இதில் L ஒன்றுதான் தெரியாதது. இதைக் கணக்கிடுக. பனிக் கட்டியின் உருகுநிலை உள்ளுறை வெப்பம் L கலோரிகளாகும்.

சோதனை 30 :—

தண்ணீரின் கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பத்தைக்காண்க (**Latent heat of vapourisation**)

முன் சோதனையில் பனிக்கட்டியைக் கலோரிமீட்டரில் போட்டது போல், இச்சோதனையில், கலோரிமீட்டரில் உள்ள தண்ணீரில் நீராவியை கலக்கச் செய்யவேண்டும். தண்ணீருடன் கலக்கும் நீராவியானது குளிர்ந்த நீர் கலப்பில்லாமல் இருக்கவேண்டும். கலோரிமீட்டர் தண்ணீ

ருடன் சேருமுன் நீராவியில் உள்ள குளிர்ந்த நீரைக் கலோரிமீட்டரில் வராமல் தடுக்கவேண்டும். இதற்காக உபயோகப்படும் கருவியைப் படத்தில் காணலாம்.



(*a*) படம் 39 (*b*)

A என்பது தண்ணீரைக் கொதிக்கவைக்கும் கெட்டியான செப்புத் பாத்திரம். நீராவி **B C** என்ற குழாய் மூலம் வெளியே வருகிறது. இக் குழாயின் **B**-என்ற பாகத்தில் ஆவி குளிர்ந்த நீர் வழிந்து செப்புப் பாத்திரத்திற்குள் விழும்படி **B** சாய்த்து அமைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. நீராவி கீழ் நோக்கிச்செல்லும்பொழுது நீராவியுடன் கலந்துவரும் தண்ணீர் **C**-என்ற பொறியில் தங்கி விடுகிறது. **D**-என்ற குழாய் மூலம் வெளிவரும் நீராவி தண்ணீர் கலப்பில்லாமல் இருக்கும். இந்நீராவியைக் கலோரிமீட்டர் தண்ணீருடன் கலக்கச்செய்ய, வேகமாக ஆவிவரும் பொழுது கலோரிமீட்டரை **D**-க்கு அடியில் கொணர்ந்து மேலே தூக்கி **D**-யின் வாய் நன்றாகத் தண்ணீருக்குள் போகும்படிச் செய்யவேண்டும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை சுமார் 5° செ. கி. ஏறினதும், கலோரிமீட்டரைக் கீழே இறக்கி, வெளியே எடுத்துக் கலக்கி அது அடைந்த உச்ச வெப்ப நிலையைக் காணவேண்டும்.

தண்ணீர்க் கலப்பில்லாத நீராவி கிடைக்க மற்றொரு சாதனமும் உண்டு.

இதில் ஒரு உருண்டை வடிவமுள்ள ஒரு கண்ணாடிக்குவேவை [A] படத்தில் (படம் 39-b) காட்டியபடி தலைகீழாக வளையமான ஒரு புன்சன் அடுப்பில் [C] வைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. ஆவி B-யின் வழியாக வெளி வருகிறது. இக்குழாயின் [B], முக்கால் பாகம் ஆவியாலும் கொதி நீராலும் சூழப்பட்டிருப்பதால் நீராவி குளிர வழி இல்லை. ஆகையால் B-யிலிருந்து வெளிவரும் நீராவி தண்ணீர் கலப்பில்லாமல் இருக்கும். மற்றபடி இச்சோதனையை, இதற்கு முன்னுள்ள சோதனையைப்போலத் தான் செய்யவேண்டும். எடுக்கவேண்டிய வாசகங்களின் விபரங்களைக் கீழே காணவும் :

வாசகங்கள் :

காலிக்கலோரிமீட்டரின் எடை $= m$ கிராம் =

$\frac{3}{4}$ பாகம் தண்ணீருடன் அதன் எடை $= m_1$ கிராம் =

கலோரிமீட்டர், தண்ணீர் இவற்றின் மொத்த சமநீர் எடை $= [ms + m_1 - m]$ கிராம் =

கலோரிமீட்டரின் ஆரம்ப வெப்பநிலை $= t_1°$ செ. கி. =

நீராவியின் வெப்பநிலை = 100 செ. கி. =

கலோரிமீட்டர் அடைந்த உச்ச வெப்பநிலை $= t°$ செ. கி. =

கலோரிமீட்டர், தண்ணீர், கலந்த நீராவி இவற்றின் எடை $= m_2$ கிராம் =

தண்ணீராக மாறிய நீராவியின் எடை $= [m_2 - m_1]$ கிராம் =

நீராவி இழந்த வெப்பம் $= [m_2 - m_1]\,L + [m_2 - m_1]\,[100 - t]$ கலோரிகள்.

கலோரிமீட்டர் ஏற்ற வெப்பம் =
$[ms + m_1 - m]\,[t - t_1]$ கலோரிகள்.

இவை இரண்டும் சமம். ஆகையால்,

$$[m_2 - m_1]\,L + [m_2 - m_1]\,[100 - t] = [ms + m_1 - m]\,[t - t_1]$$

இதில் L என்பது, தண்ணீரின் கொதிநிலை உள்ளுறை வெப்பமாகும். இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

திடப்பொருளின் உருகுநிலை

சோதனை 31 :

நாப்தலின் (Naphthaline) என்ற பொருளின் உருகுநிலையைக் காணவும்.

முதல்-வழி : இது, பொருள் மிகச்சிறிய அளவே கிடைக்கும் பொழுது அதன் உருகுநிலையைக் காணும் முறை.

திடப்பொருளில் சிறிதளவு எடுத்துப் பொடியாக்கி ஒரு கண்ணாடித் தந்துகிக் குழாயினுள் செலுத்தி இக்குழாயை வெப்பநிலைமானியின் பாதரச அடிமுனையுடன் சேர்த்துக்கட்டவும். (படம் 40)

படம் 40

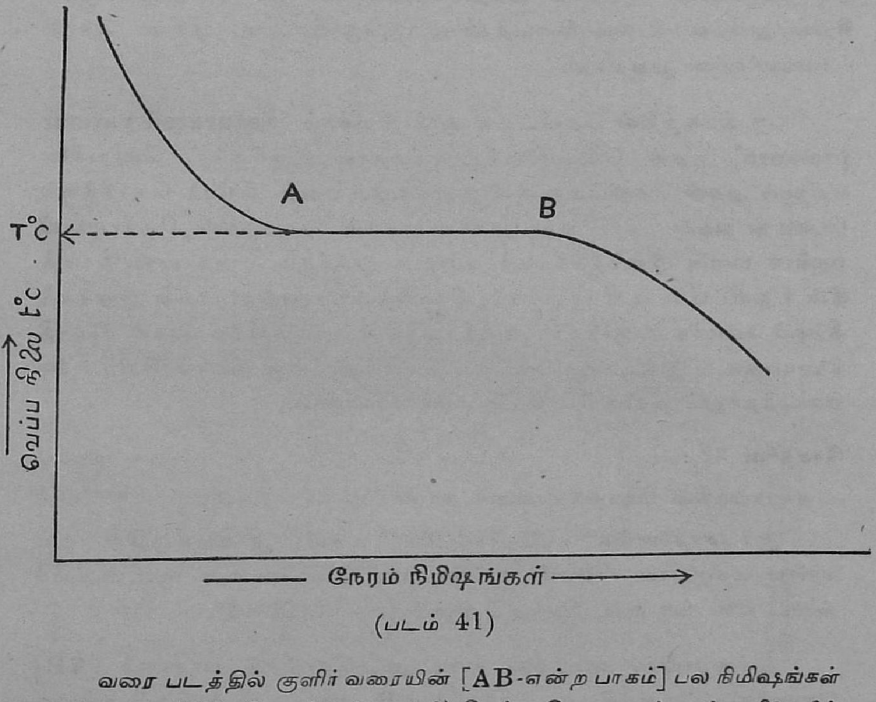
ஒரு கண்ணாடிக்குவளையில் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு அதனுள் இந்த வெப்பமானியைத் தொங்கவிட்டுத் தண்ணீரைச் சூடேற்றவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை ஏறுவதை வெப்பமானியில் கவனிக்கவும். தந்துகிக் குழாயில் உள்ள பொருள் திடப்பொருளுக்கேற்ற மங்கலான நிறத்தைவிட்டு உருகித் தெளிவாக ஆகும்பொழுது வெப்பமானியின் வாசகத்தை [$t_1°$ செ. கி.]க் கண்டு குறிக்கவும். பிறகு, தண்ணீரைக் குளிரச் செய்யவும்·உருகினபொருள் மறுபடி உறைய ஆரம்பித்து மங்கல் நிறத்தை அடையும்பொழுது வெப்பமானியின் வாசகத்தை [$t_2°$ செ. கி.]க் காண்க. இவ்விரு வாசகங்கட்குள் அதிக வேற்றுமை இருக்காது. இவற்றின் இடைமதிப்பே $\left(\frac{t_1+t_2}{2}\right)$ பொருளின் உருகுநிலையாகும்.

இரண்டாவது வழி :

வரைப்பட முறை :

ஒரு அகன்ற சோதனைக் குழாயில் முக்கால் பாகம் இப்பொருளைத் தூளாக்கி நிரப்பவும். குழாயின் வாயை இரண்டு துவாரங்கள் உள்ள தக்கையால் மூடவும். இதை ஒரு கண்ணாடிக்குவளைத் தண்ணீரிலிட்டுத் தண்ணீரைச் சூடேற்றவும். கொஞ்சநேரத்தில் குழாயில் உள்ள பொருள்

முழுதும் உருகி தெளிவான திரவமாக மாறிவிடும். ஒரு வெப்பமானியைத் தக்கையின் ஒரு துவாரத்தில் செருகி, அதன் பாதரச முனை உருகின திரவத்தில் நன்றாக மூழ்கி இருக்கச்செய்யவும். இப்பொழுது சோதனைக் குழாயை வெளியில் எடுத்துத் தொங்கவிடவும். உருகின திரவம் குளிரும் பொழுது, ஒரு நிறுத்துக் கடிகாரத்தை (stop clock) உபயோகித்து அரை நிமிஷத்திற்கொருமுறை பொருளின் வெப்பநிலையைக் கண்டு குறிக்கவும். இவ்வாசகங்களைப் பொருள் நன்றாக உறையும் வரையில் காணவேண்டும். நேரத்தையும், வெப்பநிலையையும் இணைத்து ஒரு வரை படம் வரைக. இதுவே குளிர் வரைபடம் எனப்படும்.



(படம் 41)

வரை படத்தில் குளிர் வரையின் [AB-என்ற பாகம்] பல நிமிஷங்கள் படுக்கை வாக்கிலேயே, (horizontal) செல்லுகிறது. A-என்ற நிலையில் பொருள் உறைய ஆரம்பிக்கிறது. B-என்ற நிலையில் பொருள் முற்றிலும் உறைந்து திடப்பொருளாக ஆகி விடுகிறது. A B-என்ற படுக்கைக் கோட்டைக் குறிக்கும் வெப்பநிலையே பொருளின் உருகு நிலையாகும். இதை வாசித்து குறிக்கவும்.

நாப்தலினின் உருகுநிலை = T° செ. கி. =

திரவத்தின் கொதிநிலை

சாதாரணமாக ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக்காண, பாத்திர மொன்றில் திரவத்தையெடுத்து அதைச் சூடேற்றிக் கொதிக்கவைக்க வேண்டும். திரவம் கொதிக்கும்பொழுது ஒரு வெப்பமானியைத் திரவத் தைத் தொடாமல், அதன் ஆவி சூழ பாத்திரத்திற்குள் தொங்கவிடவும். வெப்பமானியின் வாசகமே அத்திரவத்தின் கொதிநிலையாகும். மிகச் சிறிய அளவே திரவம் கிடைத்தால், இம்முறைப்படி அதன் கொதி நிலையைக்காண முடியாது.

ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் [Saturated vapour pressure] அதன் வெப்பநிலைக்கு ஏற்றதாய் இருக்கும். வெப்பநிலை ஏறினால் அதன் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கமும் ஏறும். திரவம் கொதிக்கும் பொழுது அதன் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம், திரவத்தின் மேற்பரப்பி லுள்ள பவன இறுக்கத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். அதாவது, திரவத் தின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம், திரவத்தின்மேலுள்ள பவன இறுக்கத் திற்குச் சமமாக இருந்தால், அத்திரவத்தின் வெப்பநிலை அதன் கொதி நிலையாகும். இவ்வுண்மையை உபயோகித்து, ஒரு திரவம் சிறிதளவே கிடைத்தாலும் அதன் கொதிநிலையைக் காணலாம்.

சோதனை 32 :

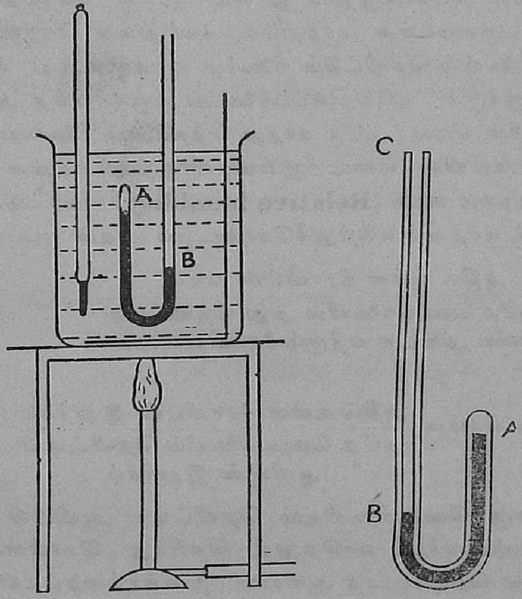
சாராயத்தின் கொதிநிலையைக் காண்க :

இச்சோதனைக்கு உபயோகப்படும் கருவி **J**-வடிவமுள்ள ஒரு கண்ணாடிக்குழாய். இதன் குட்டையான கிளையின் வாய் மூடப்பட்டும் நீண்ட கிளையின் வாய் திறந்தும் இருக்கும். (படம் 42).

இக்குழாயில், படத்தில் கண்டபடி, கொஞ்சம் பாதரசம் (AB) செலுத்தப்பட்டிருக்கிறது. ரசமட்டம் B, ரசமட்டம் A-க்கு 2 அல்லது 3 செ. மீ. கீழே இருக்கிறது. ரசமட்டம் A-க்குமேல் சிறிய கிளையில் சாராயம் சிறிது நிரப்பப்பட்டிருக்கிறது. இச்சாராயத்துடன் காற்று கொஞ்சமும் இருக்கக்கூடாது.

இச்குழாயைக் கண்ணாடிப்பாத்திரம் ஒன்றில் உள்ள தண்ணீரிலிட்டு, தண்ணீரை மெதுவாகச் சூடேற்றவும். தண்ணீரைக் கலக்கிக்கொண்டே

அதன் வெப்பநிலையை வெப்பமானி ஒன்றைக்கொண்டு கவனிக்கவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை ஏறும்பொழுது சாராயத்தின் ஆவியிறுக்கம் ஏறும். அதனால் ரசமட்டம் **A**-கீழ்நோக்கி இறங்கும். தண்ணீரின் வெப்ப



படம் 42

நிலை சாராயத்தின் கொதிநிலையை அடைந்தவுடன், சாராயத்தின் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம் பவன இறுக்கத்தை அடையும். அதனால் ரசமட்டங்கள் **A, B** இரண்டும் ஒரே தளத்தை அடையும். இவ்விரு ரச மட்டங்கள் ஒரே தளத்திற்கு வரும்பொழுது தண்ணீரின் வெப்பநிலை [t_1° செ. கி.] யைக் கண்டு குறிக்கவும். தண்ணீர் கொஞ்சம் அதிகமாகச் சூடேறியவுடன் அதைக் குளிரவைத்து ரசமட்டங்கள் மறுபடியும் ஒரே தளத்தை அடையும்பொழுது, தண்ணீரின் வெப்பநிலை [t_2° செ.கி.]யைக் காண்க. வெப்பமானியின் இவ்விரண்டு வாசகங்களின் இடை மதிப்பை $\left[\frac{t_1+t_2}{2}\right]$-க் கணக்கிடுக. இதுவே சாராயத்தின் கொதிநிலை.

ஈரப்பத இயல் [Hygrometry]

பவனத்தில் எப்பொழுதும் ஓரளவு நீராவி கலந்தே இருக்கிறது. ஒரு குறித்த பருமையுள்ள காற்றிலே கலந்துள்ள நீராவி, அக்காற்று அதே வெப்பநிலையில் தெவிட்டும் நிலைக்கு ஏற்கக் கூடிய நீராவியைவிட குறைவாக இருக்கும். ஒரே வெப்பநிலையில் ஒரு குறித்த அளவு காற்றில் உள்ள நீராவியின் எடை, அதே சாற்று தெவிட்டும் நிலையை அடைய உட்கொள்ளும் நீராவியின் எடை இவ்விரண்டிற்கும் உள்ள தகவே அக்காற்றின் ஒப்புமை ஈரம் (**Relative humidity**) எனப்படும். அதாவது 1 கன செ. மீ. காற்றை எடுத்துக்கொண்டால் அதன் ஒப்புமை ஈரம்

$$= \frac{\text{அதில் உள்ள நீராவியின் எடை}}{\text{அதே வெப்பநிலையில் அது தெவிட்டும் நிலையை அடைய ஏற்கும் நீராவியின் எடை}}$$

அல்லது,

$$\text{ஒப்புமை ஈரம்} = \frac{\text{அதில் உள்ள நீராவியின் இறுக்கம்}}{\text{அதே வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கம்}}$$

ஒவ்வொரு வெப்பநிலையிலும் தெவிட்டிய ஆவியின் இறுக்கத்தை அட்டவணைகளிலிருந்து வாசித்துத் தெரிந்து கொள்ளலாம். ஆனல் காற்றில் உள்ள தெவிட்டாத ஆவியின் இறுக்கத்தைப் பரிசோதனையால் தான் காணமுடியும். அறையின் வெப்பநிலையில் ஒரு குறித்த அளவு காற்றில் உள்ள நீராவி தெவிட்டாத நீராவியாகும். இதே நீராவி இக்காற்றில் தெவிட்டும் நிலையில் ஒரு குளிர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும். இக்குளிர்ந்த வெப்பநிலை பனிநிலை (**Dew Point**) எனப்படும்.

இலக்கணம் :—

பனி நிலை :—(**Dew point**).

காற்றில் உள்ள நீராவி அதை எந்த வெப்பநிலையில் தெவிட்டச் செய்யுமோ அந்த வெப்பநிலையே பனிநிலை (**Dew point**) எனப்படும். ஆகையால் காற்றின் பனிநிலை தெரிந்தால் அட்டவணைகளிலிருந்து அப் பனிநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்தை (P_1 செ. மீ. ரசம்)-க் காணலாம். பவனத்தின் வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்தையும் (P செ. மீ. ரசம்) காணலாம். இதிலிருந்து காற்றின்

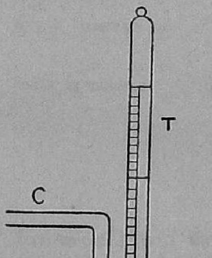
$$\text{ஒப்புமை ஈரம்} = \frac{\text{பனிநிலையில் காற்றில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம்}}{\text{பவன வெப்பநிலையில் காற்றில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கம்}}$$

ஆகையால் ஒப்புமை ஈரத்தைக்காண காற்றின் பனிநிலையைப் பரிசோதனை மூலம் காணவேண்டும்.

சோதனை 33 :—

ரிஞேவின் ஈரமானியை உபயோகித்துப் பனிநிலையைக்கண்டு காற்றில் ஒப்புமை ஈரத்தைக் கணக்கிடுக :

ரிஞேவின் ஈரமானியின் அமைப்பைப் படத்தில் காணலாம். (படம் 43).



படம் 43

A என்பது ஒரு கண்ணாடிக்குழாய். இதன் அடி, மெருகுடன் உள்ள ஒரு வெள்ளிப் பூணல் [**B**] மூடப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயின் வாய் இரண்டு துவாரங்கள் உள்ள ஒரு தக்கையால் மூடப் பட்டிருக்கிறது. இத்துவாரங்களில் **C** என்ற மெல்லிய குழாயும், **T**-என்ற வெப்பமானியும் செருகப்பட்டிருக்கின்றன. **A**-யில் ஈதர் திரவத் தைக் கொஞ்சம் ஊற்றவும். குழாய் **C**-யின் அடி முனை இத்திரவத்துள் மூழ்கி இருக்கவேண்டும். ஒரு திரவம் ஆவியாக மாறும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை குறையும். **C**-யின் வெளி முனையில் ஒரு ரப்பர் குழாயைக்கோர்த்து அதன் வழியாகக் காற்றை ஊதவும். காற்று ஈதரில் கொப்பளமிட்டு **D**-வழியே வெளிச்செல்லும். ஈதரின் வெப்பநிலை வெகுவாகக் குறையும். அதனுல் வெள்ளிப்பூணின் வெப்பநிலையும் அதை ஒட்டி இருக்கும் வெளிக் காற்றின் வெப்பநிலையும் குறையும். இக்காற்றின் வெப்பநிலை, பனிநிலையிலிருந்து சிறிது கீழே இறங் கியதும் வெள்ளிப்பூணின் மீது பனி படிந்து அதன் பிரகாசம் மங்கும். இவ்விதம் இதன் பிரகாசம் மங்க ஆரம்பித்த உடனே வெப்பமானியின் வாசகத்தை [t_1° செ. கி]க் கண்டு குறிக்கவும். பிறகு ஈதர்வழி யாகக் காற்று செல்லுவதை நிறுத்திவிடவும். ஈத ரின் வெப்பநிலை பவனத்தின் வெப்பநிலைக்கு ஏறும். வெள்ளிப்பூணின் வெப்பநிலையும் ஏறும். இதன் வெப்பநிலை பனிநிலையைவிடச் சற்று ஏறிய உடனே அதன்மேலுள்ள பனி ஆவியாக மாறி மறுபடி பிரகாசமடையும். இவ்விதம் பனி மறைந்து வெள்ளிப்பூண் பிரகாசமாக ஆரம்பித்தவுடன்

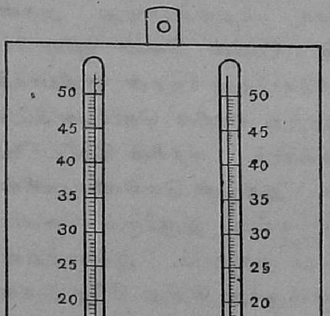
ஈதரின் வெப்பநிலையை [t_2° செ. கி.]க் கண்டுகொள்க. காற்றின் பனி நிலை, இவ்விரண்டு வாசகங்களின் இடைமதிப்பேயாகும்.

$$\text{காற்றின் பனிநிலை} = \left[\frac{t_1 + t_2}{2}\right]^\circ \text{ செ. கி.}$$

பவனத்தின் வெப்பநிலையை [t° செ. கி.]க் காண்க. அட்டவணையிலிருந்து பனிநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்தையும் [p] பவன வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி இறுக்கத்தையும் [P] கண்டுகொள்க. காற்றின் ஒப்புமை ஈரம் $= \frac{p}{P}$ ஆகும். இதைக்காண்க. ஒப்புமை ஈரம் $\frac{p}{P}$ ஐ 100-ஆல் பெருக்கிச் சொல்லுவது வழக்கம். பவனத்தின் ஒப்புமை ஈரம் $\frac{p}{P} \times 100\%$.

சோதனை 34 :

மேஸனின் ஈரமானியை உபயோகித்து பவனத்தின் பனிநிலையைக் கண்டு, அதன் ஒப்புமை ஈரத்தைக் கணக்கிடுக.



படம் 44

இந்த ஈரமானியில் ஒரே விதமான இரண்டு வெப்பமானிகள் ஒரு சட்டத்தில் பொருத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 44). இதில் ஒரு வெப்பமானியின் குமிழ் [Bulb] ஈரமஸ்லின் துணியினால் சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. இதன் ஈரம் உலராமல் இருப்பதற்காக இத்துணியின் ஒரு முனை சிறு கோப்பை ஒன்றிலுள்ள தண்ணீரில் தொங்கவிடப்பட்டு இருக்கிறது. குமிழைச் சுற்றியிருக்கும் துணி மீதுள்ள நீர் ஆவியாவதால் இதில் குளிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. அதனால் இந்த வெப்பமானி உலர்ந்த குமிழ் வெப்பமானியின் வாசகத்தை [t_1° செ.கி.]விடக் குறைவான வாசகத்தை [t_2° செ. கி.]க் காண்பிக்கும். இவ்விரு வாசகங்களையும் குறித்துக் கொள்க. இவற்றின் வித்தியாசம் [$t_1 - t_2$], பவனத்தின் ஈரப்பத நிலையைச்

[**Hygrometric State**] சார்ந்திருக்கும். இவ்விரண்டு வாசகங்களிலிருந்து பனிநிலையைக்காண ஒரு அட்டவணை தயாரிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

Dry bulb tempera- tures 0°C.	G. F.	Dry bulb tempera- tures 0°C.	G. P.	Dry bulb tempera- tures 0°C.	G. P.	Dry bulb tempera- tures 0°C.	G.F.
0	3·32	11	2·02	21	1·77	31	1·64
1	2 81	12	1 99	22	1·75	32	1·63
2	2·54	13	1·95	23	1·74	33	1·62
3	2·39	14	1·92	24	1·72	34	1·61
4	2 31	15	1·89	25	1·70	35	1·60
5	2 26	16	1·87	26	1·69	36	1·59
6	2·21	17	1·85	27	1·68	37	1·58
7	2·17	18	1·83	28	1·67	38	1·57
8	2·13	19	1·81	29	1·66	39	1·56
9	2·10	20	1·79	30	1·65	..	..
10	2·06	..	..	..	..	..	..

G. F. = Glaisher factor.

இந்த அட்டவணையை உபயோகிக்கும் முறை பின் வருமாறு :

உலர்ந்த குமிழ் வெப்பமானியின் வாசகம் 33° செ.கி. எனக்கொள்க. ஈரக்குமிழி வெப்பமானியின் வாசகம் 28° செ. கி. என்று இருக்கட்டும். இவற்றின் வித்தியாசம் 5°. அட்டவணையில் 33° செ.கி. க்கு எதிரில் உள்ள எண் 1·62. இந்த எண்ணை 5-ஆல் பெருக்கி பெருக்குத் தொகையை 33° செ. கி. லிருந்து கழிக்கவும். கழித்தபிறகு கிடைத்த மீதியே பனிநிலையாகும்.

பனிநிலை $= 33 - (5 \times 1{\cdot}62) = 33 - 8{\cdot}1 = 24{\cdot}9$ செ. கி.

பவனத்தின் வெப்பநிலை $= 33°$ செ. கி.

பனிநிலை $= 24{\cdot}9°$ செ. கி.

இவ்விரு வெப்பநிலைகட்குரிய தெவிட்டிய நீராவி இறுக்கத்தை அட்டவணையிலிருந்து கண்டு பவனத்தின் ஒப்புமை ஈரத்தைக் கணக்கிட்டு சதவீதத்தில் கொடுக்கவும்.

வெப்பக்கதிர்வீசல்—Radiation of heat.

குளிர்தல்விதி :—

சூடான ஒரு பொருளைப் பவனத்தில் தொங்கவிட்டு அதன் வெப்பநிலையைக் கவனித்தால், அதன் வெப்பநிலை குறைந்துகொண்டே வருவதைக் காணலாம். இப்பொருளின் வெப்பநிலை அதைச் சூழ்ந்துள்ள பவனநிலையின் வெப்பத்தைவிட அதிகமாக இருந்தால், பொருளின் வெப்பநிலை அதிவேகமாகக்குறையும். பொருளின் வெப்பநிலை பவனத்தின் வெப்பநிலையைவிட சற்றே அதிகமாக இருந்தால் பொருளின் வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம் குறையும். ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம் **(Rate of fall of temperature)** அதன் வெப்பநிலைக்கும், அதைச் சூழ்ந்துள்ள பவனத்தின் வெப்பநிலைக்கும் உள்ள வேற்றுமைக்கு ஏற்பவுள்ளது. இதுதான் நியூட்டனின் குளிர்விதி. பொருளின் வெப்பநிலை t செகண்டு நேரத்தில் $T_2°$ செ. கி.-யிலிருந்து $T_1°$ செ. கி.-க்குக் குறைவதாகக்கொள்ளுவோம். இந்நேரத்தில் பொருளின் வெப்பநிலையை $\left[\frac{T_1+T_2}{2}\right]^\circ$ செ.கி. எனக்கொள்ளலாம். பவனத்தின் வெப்பநிலை $T°$ செ.கி. என்றால், இவ்விரு வெப்பநிலைகளின் வேற்றுமை $\left[\frac{(T_1+T_2)}{2}-T\right]^\circ$ செ. கி. ஆகும். இதன் வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம் ஒரு செகண்டிற்கு $\left[\frac{T_2-T_1}{t}\right]^\circ$ செ. கி. ஆகும்.

நியூட்டனின் விதிப்படி, $\left[\frac{T_2-T_1}{t}\right] \div \left[\frac{T_1+T_2}{2}-T\right]$ ஒரு மாறிலி.

இதில் T_1, T_2 இவற்றின் வேற்றுமை, மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். இதிலிருந்து, $\left[\frac{T_2-T_1}{t}\right] \div \left[\frac{T_1+T_2}{2}-T\right]$ = மாறிலியாகும் **(Constant)** அல்லது,

$$\frac{\text{வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம்}}{\text{பொருள், பவனம் இவற்றின் வெப்பநிலைகளின் வேற்றுமை}} = \text{மாறிலி.}$$

இவ்விதியிலிருந்து ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம், பொருள், அதைச் சூழ்ந்துள்ள பவனம் இவற்றின் வெப்பநிலைகளின்

வேற்றுமையைப் பொருத்திருக்குமே தவிர பொருளின் தன்மையைப் பொருத்ததல்ல என்று தெரிகிறது.

ஆனல் $T_2°$ செ.கி. வெப்பநிலையில் உள்ள கனமான இரும்புத்துண்டு $T_1°$ செ. கி. நிலக்கு இறங்க, இத்துண்டு கொஞ்சம் சூட்டை இழக்க வேண்டும். இவ்விதம் இழக்கும் சூடு பொருளின் சமநீர் எடையைப் பொருத்தது. பொருளின் எடை **M** கிராம் என்றும் அதன் வெப்ப எண் **S** என்றும் கொண்டால், பொருளின் வெப்பநிலை $(T_2-T_1)°$ செ. கி. இறங்க அது $MS\,(T_2-T_1)$ கலோரி சூட்டை இழக்கவேண்டும்.

வெப்பநிலை $T_2°$ செ. கி-இலிருந்து $T_1°$ ஆக இறங்குவதற்கு வெவ்வேறு பொருளுக்கு வெவ்வேறு நேரம் பிடிக்கும். ஒரு பொருளின் இந் நேரத்தை t செகண்டு எனக்குறித்தால் பொருளின் குளிரும் வேசம் $\frac{M\,S\,(T_2-T_1)}{t}$ கலோரி ஆகும். நியூட்டனின் விதிப்படி, இக்குளிரும் வேகம், பொருள், அதைச்சுற்றியுள்ள பவனம் இவற்றின் வெப்பநிலை வேற்றுமைக்கு எற்பதாக இருக்கும். இரண்டு பொருள்களை எடுத்துக் கொள்ளுவோம். இவற்றின் வெப்பநிலை $(T_2-T_1)°$ செ. கி. தூரம் இறங்க இவை எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தை முறையே t_1, t_2 செகண்டுகள் எனக்கொண்டால், $\frac{M_1S_1\,(T_2-T_1)}{t_1} = \frac{M_2S_2\,(T_2-T_1)}{t_2}.$

ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் தெரிந்தால் மற்றொரு பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

சோதனை 35 :—

1. நியூட்டனின் குளிர்தல் விதியை நிரூபித்துக் காட்டுக.

2. நியூட்டனின் விதியை உபயோகித்துத் தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக்காண்க.

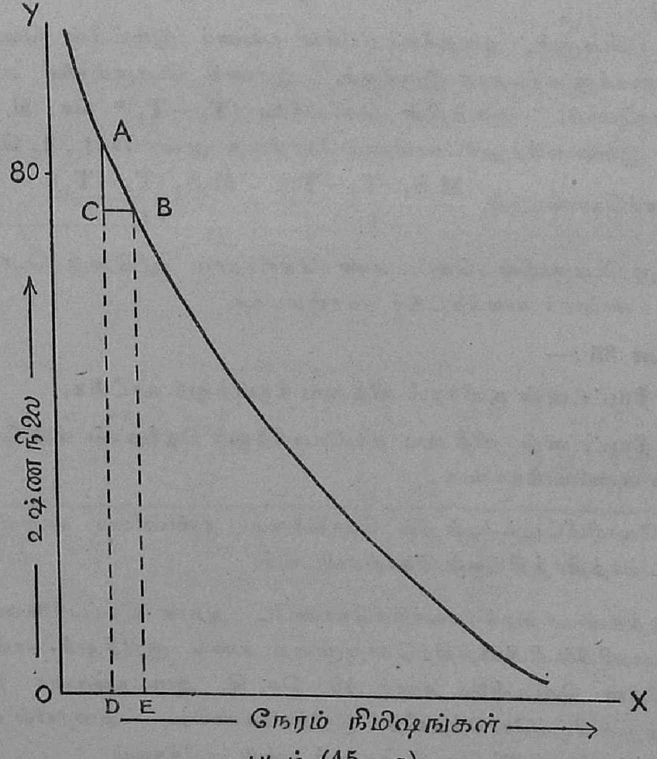
கலோரிமீட்டர் ஒன்றில் கொதிக்கும் தண்ணீரை ஊற்றி, ஒரு வெளிப் பாத்திரத்திற்குள் தொங்கவிடவும்.

இத்தண்ணீரைக் கலக்கிக்கொண்டே அதன் வெப்பநிலையை ஒரு வெப்பமானியில் நிமிஷத்திற்கொருமுறை கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். தண்ணீரின் வெப்பநிலை சுமார் 40° செ. கி. அடையும்வரை இதைக் கவனித்துக் கீழ்க்கொடுத்தவிதம் குறிக்கவேண்டும். அறையில் பவனத்தின் வெப்பநிலை [T° செ. கி.] யைக் கண்டு குறிக்கவும்.

நிரலீடு :—

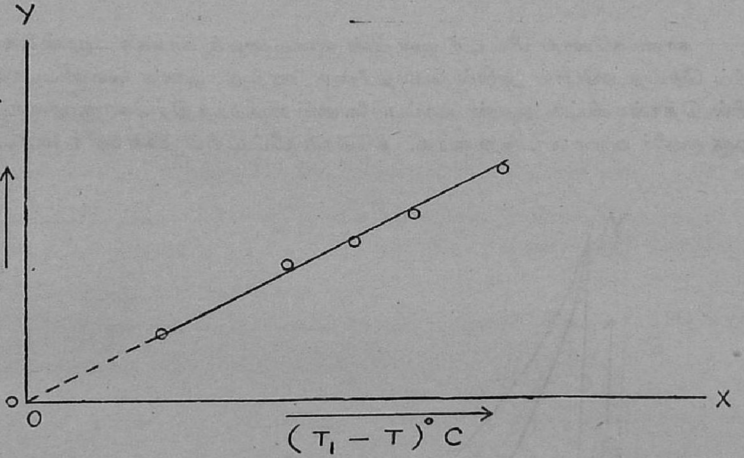
நேரம் நிமிஷத்தில்	வெப்பநிலை செ. கி.	நேரம் நிமிஷத்தில்	வெப்பநிலை °செ. கி.	நேரம் நிமிஷத்தில்	வெப்பநிலை °செ. கி.

கிடை அச்சில் (X – *axis*) நேரத்தையும், நிலைஅச்சில் (*Y-axis*) வெப்பநிலையையும் குறித்து ஒரு குளிர் வரை படம் (Cooling curv(e வரைக. இதன் அமைப்பைப் படத்தில் (படம் 45-*a*) காணவும்.



படம் (45—*a*)

இவ்வரை படத்திலிருந்து கலோரி மீட்டரின் குளிர்தல் வேகத்தைக் கணக்கிடும் விதம் :—80° செ. கி. வெப்பநிலையில் குளிர்தல் வேகத்தைக் காண, 82° செ. கி. வெப்பநிலையையும், 78° செ. கி. நிலையையும் வரை கோட்டில் **A, B** என்ற புள்ளிகளால் குறிக்கவும். கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை **A D**-யிலிருந்து **B E**-க்கு **D E**-என்ற நேரத்தில் இறங்குகிறது. ஆகையால் வெப்பநிலை இறங்கும் வேகம் = **AC/BC.** கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலைக்கும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள பவனத்தின் வெப்பநிலைக்கும் உள்ள வேற்றுமை $(80 - \mathbf{T})^\circ$ செ. கி. இவ்விரண்டிற்கும் உள்ள



படம் (45—*b*)

தகவு $\frac{AC/BC}{(80 - T)}$ ஐ கணக்கிடுக. இத்தகவை கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை 70° செ. கி., 60° செ. கி., 50° செ. கி-ல் இருக்கும்போது கண்டு நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

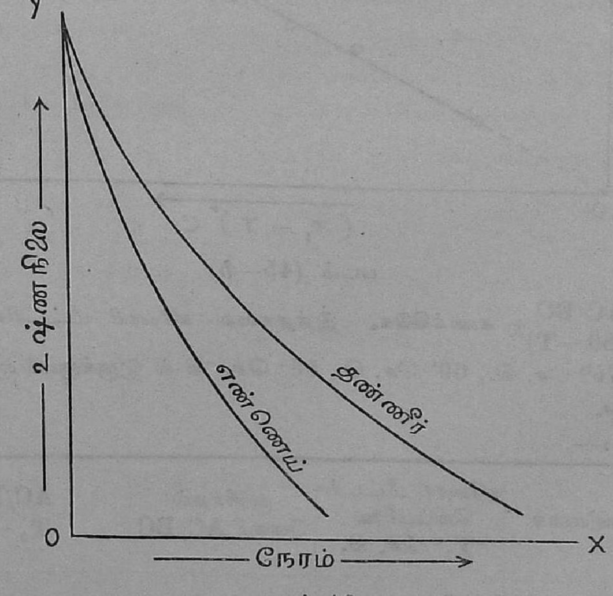
எண்ணிக்கை	கலோரி மீட்டர் வெப்பநிலை T_1° செ. கி.	குளிர்தல் வேகம் AC/BC	$\frac{AC/BC}{T_1 - T}$
	80° 70° 60° 50°		

இந்நிரலீட்டில் $\dfrac{AC/BC}{T_1 - T}$ ஒரு மாறிலியாக இருப்பதைக் கவனி. இதுவே நியூட்டனின் விதி.

AC/BC என்ற குளிர்தல் வேகத்தை நிலை அச்சிலும் $(T_1 - T)^\circ$ செ. கி ஐ கிடை அச்சிலும் குறித்து மற்ருெரு வரை படம் போடவும் படம் (45-b). இவ்வரைகோடு ஒரு நேர்கோடாயிருக்கும். ஆகையால் குளிர் தல் வேகம், வெப்பநிலை வேற்றுமைக்கு எற்பவுள்ளது எனத் தெரிகிறது.

தேங்காய் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக் காண :—

காலி கலோரி மீட்டர் ஒன்றின் எடையைக் காண்க. முன்சோதனை யில் செய்ததுபோல் அதில் கொதிநீரை ஊற்றி அதை வெளிப்பாத்திரத் தில் தொங்கவிட்டு அதன் வெப்பநிலையை நிமிஷத்திற்கொருமுறை கண்டு ஒரு குளிர் வரை படம் வரைக. கலோரி மீட்டரில் தண்ணீர் மட்டத்தை



படம் 46

ஒரு அடையாளத்தால் குறித்துக்கொள்ளவும். கலோரி மீட்டர் நன்ருகக் குளிர்ந்தவுடன் அதன் எடையைக் காண்க.

இப்போது, தண்ணீரைக் கொட்டிவிட்டு அதே அளவிற்குச் சூடேறின தேங்காய் எண்ணெயை அதில் ஊற்றி முன்போல் அதன் வெப்பநிலைகளைக் கண்டு தேங்காய் எண்ணெய்க்குக் குளிர் வரை படம் வரைக (படம் 46).

குளிர்ந்ததும் கலோரி மீட்டரின் எடையைக் காண்க. வாசகங்களை வரிசைக் கிரமமாகக் குறித்துக் கீழே கொடுத்தவிதம் எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிடுக.

காலி கலோரி மீட்டரின் எடை	m கிராம்.
கலோரி மீட்டரின் உலோகத்தின் வெப்ப எண்	s.
தண்ணீருடன் கலோரி மீட்டரின் எடை	m_1 கிராம்.
எண்ணெயுடன் கலோரி மீட்டரின் எடை	m_2 கிராம்.
கலோரி மீட்டர், தண்ணீர் இவற்றின் சமநீர் எடை	$(ms + m_1 - m)$ கிராம்.
கலோரி மீட்டர் எண்ணெய் இவற்றின் சமநீர் எடை	$[ms + (m_2 - m)\,S]$ கிராம்

(S எண்ணெயின் வெப்ப எண்)

குளிர் வரை படத்திலிருந்து தண்ணீர், எண்ணெய் இவற்றின் வெப்பநிலை 75° செ. கி.-யிலிருந்து 70° செ. கி.-க்கு இறங்க எடுத்துக் கொள்ளும் நேரங்களை (முறையே t_1, t_2 நிமிஷங்கள்)-க் காணவும்.

தண்ணீர் சூட்டை இழக்கும் வேகம்

$$(ms + m_1 - m)\ \frac{5}{t_1} \text{ கலோரிகள்.}$$

எண்ணெய் சூட்டை இழக்கும் வேகம்

$$\{ms + (m_2 - m)\,S\}\ \frac{5}{t_2} \text{ கலோரிகள்.}$$

இவை இரண்டும் சமம்.

$$\frac{(ms + m_1 - m)\,5}{t_1} = \frac{[\,ms + (m_2 - m)\,S]5}{t_2}.$$

இதிலிருந்து எண்ணெயின் வெப்ப எண்ணை (S)-க் கணக்கிடுக. இதைப் பல வெப்பநிலைகளிலும் காணவும்.

வெப்பத்தின் இயக்க வேலைச் சமத்துவம்
(Mechanical equivalent of heat)

இயக்கவேலையிலிருந்து வெப்பத்தை உண்டாக்கினால், இதனால் உண்டாகும் வெப்பம் இயக்கவேலைக்கு ஏற்ப இருக்கும். வெப்பம் வேலையாக மாறினாலும் வேலை வெப்பமாக மாறினாலும், வேலைக்கும் வெப்பத்திற்கும் உள்ள தகவு மட்டும் மாறாது. இவ்வித மாறுதலில் W எர்க் (erg) வேலை, H கலோரி சூட்டை உண்டாக்கினால், மேலே சொன்ன விதிப்படி

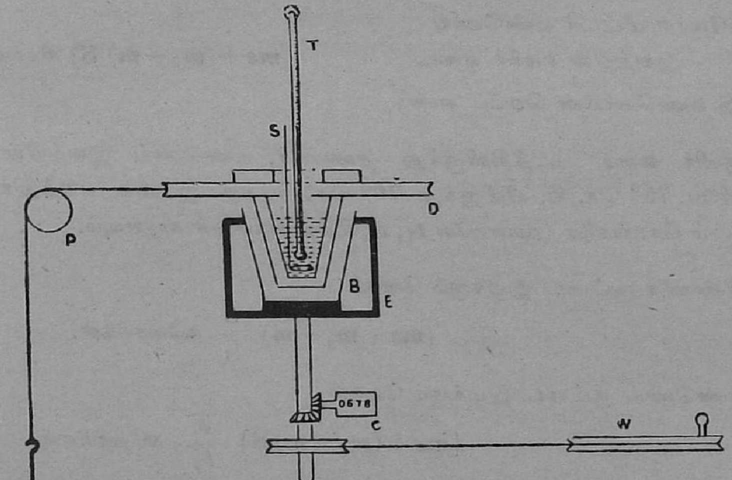
W = JH. ஆகும். அதாவது $\frac{W}{H} = J$ என்ற ஒரு மாறிலியாகும். இங்கு

J என்பது ஒரு கலோரி சூட்டை உண்டாக்குவதற்குவேண்டிய வேலையாகும். இந்த மாறிலியே வெப்பத்தின் இயக்கவேலைச் சமத்துவமாகும்.

சோதனை 36 :—

வெப்பத்தின் இயக்கவேலைச் சமத்துவத்தைக் காண்க.

இதற்கு உபயோகப்படும் கருவியின் அமைப்பைப் படத்தில் காணவும் (படம் 47).



M - Mass D - Disc S - Stirrer E - Ebony box
P - Pulley T - Thermometer B - Conical Brass cups. C - Counter W - Rotating wheel.

படம் 47

இதில் A, B என்ற கூருருளை வடிவான இரண்டு பித்தளைக் கிண்ணங்கள் ஒன்றனுள் ஒன்று இறுக்கமாகப் பதிந்து இருக்கின்றன. இவ்விரண்டும் சேர்ந்து சோதனையில் ஒரு கலோரிமீட்டராக உபயோகப்படுகின்றன. B-என்ற வெளிக்கிண்ணம் செங்குத்தான ஒரு அச்சின் மேல் முனையில் உள்ள ஒரு மரம் அல்லது எபொனி கிண்ணத்தில் (E) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த அச்சு அதன் கீழ்முனையில் ஒரு உருளையை கொண்டுள்ளது. இவ்வச்சு ஒரு சக்கரத்துடன் (W) கயிற்றினால் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இச்சக்கரத்தைச் சுழற்றினால் வெளிக்கிண்ணம் B அதே வழி சுழலும். இக்கிண்ணத்தின் சுழற்சிகளை எண்ணுவதற்காக C-என்ற ஒரு எண்ணல் கருவி (Counter) இதன் அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டு இருக்கிறது. உள்கிண்ணத்தின் விளிம்பில் உள்ள இருமுளைகளில் D-என்ற வட்டமான மரத்தட்டு ஒன்று செருகப்பட்டு இருக்கிறது. இதன் மேலுள்ள கனமான ஒரு உலோக வளையம் இதை மேலே கிளம்பவொட்டாமல் அழுத்திக்கொண்டு இருக்கிறது. இம்மரத்தட்டு விளிம்பில் ஒரு மெல்லிய நூல் சுற்றப்பட்டு இதன்முனை ஒரு உருளை (P) யைச் சுற்றிகொண்டு M-என்ற எடையைத் தாங்கி நிற்கிறது.

எடை M-ஐ கீழிறங்கவிட்டால் இது உள் கிண்ணத்தைச் சுற்றச் செய்யும். இத்துடன் வெள்ளிக்கிண்ணமும் சுற்ற யத்தனிக்கும். எடை M-ஐ எடுத்துவிட்டுச் சக்கரத்தைச் சுற்றினால் வெளிக்கிண்ணம், உள்கிண்ணம், அதன் மேலுள்ள மரத்தட்டு எல்லாம் சேர்ந்து சுற்றும். எடை M-ஐ தொங்கவிட்டு சக்கரத்தைச் சரியான முறையில் சுற்றி உள் கிண்ணமும், வெளிக்கிண்ணமும் எதிர்த்திசையில் சுற்ற செய்யலாம். சக்கரத்தின் சுழற்சி வேகத்தைச் சரியாக மாற்றி அமைத்தால் உள் கிண்ணம் சுற்றாமல் இருக்கச்செய்யலாம். இப்பொழுது எடை M கீழிறங்காமலும், மேலெழும்பாமலும் ஒரே இடத்தில் தொங்கும்.

சோதனை செய்ய, இருகிண்ணங்களின் (துடுப்புடன்) எடையைக் காண்க. உள்கிண்ணத்தில் பாதிக்குமேல் தண்ணீர் எடுத்துக்கொண்டு மறுபடியும் அதன் எடையைக்கண்டு கிண்ணங்களைச் சரியானபடி பொருத்தி வைக்கவும். மரத்தட்டின் மத்தியில் உள்ள துவாரத்தின் வழியாக ஒரு வெப்பமானியை (T) கிண்ணத்திற்குள் தொங்கவிட்டு, தண்ணீரின் வெப்பநிலையைக் கண்டு குறித்துக்கொள்க. நூலின் ஒரு முனையில் சௌகரியமானதொரு எடையைத் தொங்கவிட்டு (M) எண்ணல் கருவியின் வாசகத்தைக் குறித்துக்கொள்ளவும். M-ஒரே நிலையில் நிற்கும்படி சக்கரத்தைச் சரியான வேகத்தில் சுற்றவும். இரு கிண்ணங்கட்குமிடையே ஏற்படும் உராய்வுப் பிணர்ச்சியை எதிர்த்து, வேலை செய்யப்படுகிறது.

இப்பிணர்ச்சியினுல் சூடு உண்டாகி கிண்ணங்களின் வெப்பநிலை ஏறு கிறது. இவ்வெப்பநிலை சுமார் 3° செ. கி. அல்லது 4° செ. கி. ஏறின வுடன் சுற்றுவதை நிறுத்தி, தண்ணீரை நன்ருகக் கலக்கி அது அடைந்த உச்ச வெப்பநிலையைக் காணவும். எண்ணல் கருவியின் வாசகத்தை மறு படியும் வாசிக்கவும். எண்ணல் கருவியின் இரு வாசகங்கட்குமுள்ள வேற்றுமை (N), வெளிக்கிண்ணம் சுற்றின சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை யாகும். ஒரு நூலின் உதவியால் மரத்தட்டின் பரிதி நீளம் (circumfrence) C-ஐ அளந்துகொள்க. வாசகங்களைத் தொகுத்துக் குறித்து J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

வாசகங்கள் :—

காலிக்கிண்ணங்களின் எடை $= m$ கிராம் $=$

தண்ணீருடன் இவற்றின் எடை $= m_1$ கிராம் $=$

தண்ணீரின் எடை $= (m_1 - m)$ கிராம் $=$

கிண்ணங்களின் வெப்பஎண் s என்ருல்,

மொத்தச் சமநீர் எடை $= (ms + m_1 - m)$ கிராம் $=$

தண்ணீரின் வெப்பநிலை... ..t_1° செ. கி. $=$

எண்ணல் கருவியின் ஆரம்ப வாசகம் $= n_1 =$

தண்ணீர் அடைந்த உச்சவெப்பநிலை $= t_2$° செ. கி. $=$

எண்ணல் கருவியின் கடைசி வாசகம் $= n_2. =$

வெளிக்கிண்ணத்தின் சுழற்சிகளின்

மொத்தஎண்ணிக்கை......$(n_2 - n_1) = N =$

மரத்தட்டுப் பரிதியின் நீளம் $= C$ செ. மீ. $=$

தொங்கவிடப்பட்ட எடை $= M$ கிராம். $=$

இந்த எடைக்கு உள்ள தாக்கு $= Mg$ டைன்ஸ் $=$

கிண்ணங்கள் ஏற்ற சூடு $(H) = (ms + m_1 - m)\ (t_2 - t_1) =$ கலோரிகள்.

இச்சூட்டை உண்டாக்கிய

இயக்கவேலை $W = Mg \times C \times N$ எர்க்

வெப்ப இயக்கவேலை சமத்துவ விதிப்படி $W = JH$

$$Mg \times C \times N = J \times (ms + m_1 - m)\ (t_2 - t_1)$$

$$J = \frac{MgCN}{(ms + m_1 - m)\ (t_2 - t_1)}$$ ஒரு கலோரிக்குள்ள எர்க்.

இதன் மதிப்பு $4{\cdot}2 \times 10^7$ எர்க்காகும்.

ஒளியியல்

ஒளி அளவை
(Photometry)

இலக்கணம் :—

ஒளிர்வுச்சேறிவு :—**(Intensity of illumination)**

ஒரு பரப்பின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியின் ஒளிர்வுச் செறிவு, அப்புள்ளியைச்சுற்றி ஒரு அலகுப் பரப்பில் ஒரு செகண்டு நேரத்தில் விழும் ஒளியேயாகும்.

தலைகீழ்ச்சதுரவிதி :— **(Inverse square law)**

ஒருபரப்பின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியின் ஒளிர்வுச்சேறிவு, அப் **புள்ளிக்கும் ஒளி ஊற்றுக்கண்ணுக்கும் உள்ள தூரத்தின் வர்க்கத்திற்கு எதிர் விகிதமானது.**

இத்தலைகீழ்ச் சதுர விதியைப் பயன்படுத்தி இரண்டு ஒளி ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறன்களை **(Illuminating power)** *ஒப்பிட்டுக் காணலாம் இரண்டு ஒளி ஊற்றுக்களின் ஒளிதருதிறன்களை ஒப்பிட, அவற்றை ஒரு பரப்பின் பகுதிகளை அடுத்தடுத்து ஒளியிடச்செய்து அவ்விரண்டு ஒளிகளும் சமமாகும்படி ஊற்றுக் கண்களின் தூரங்களை மாற்றி அமைத்து தலைகீழ்ச்சதுர விதியினால் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கலாம். ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறன்கள்* I_1, I_2 *என்றும், பரப்பின்மீது ஒரே அளவு ஒளிபட அவற்றின் தூரம் முறையே* d_1, d_2 *என்றும் கொண்டால்*

$$\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2} \text{ அல்லது } \frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

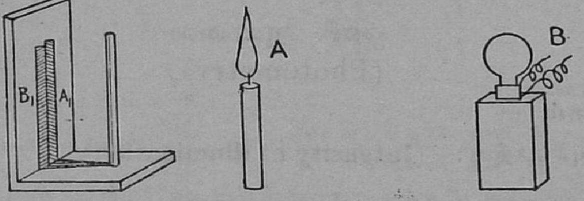
ஒளி ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறன்களை ஒப்பிட உபயோகிக்கும் கருவிக்கு ஒளிமானி **(Photometer)** *எனப்பெயர்.*

சோதனை 37 :—

ரம்போர்டின் ஒளிமானியைக் கொண்டு **(Rumford's shadow photometer)** இரண்டு ஒளி ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறன்களை ஒப்பிடுக :—

இந்த ஒளிமானியில் ஒரு தேய்த்த கண்ணாடித்திரை உள்ளது. இத்திரை எதிரில் செங்குத்தான ஒரு மெல்லிய கம்பி இருக்கிறது. (படம் 48).

A, B என்ற ஊற்றுக்கண்களால் உண்டாகும் இக்கம்பியின் நிழல்களை திரையில் அடுத்தடுத்து விழும்படி ஊற்றுக் கண்களைச் சரியான



படம்—48

இடங்களில் வைக்கவும். ஒரு ஊற்றுக்கண்ணை ஒரே இடத்தில் வைத்து மற்றொன்றைச் சரியானபடி நகர்த்தி இரு நிழல்களும் ஒரே ஒளியுடன் இருக்கச்செய்யவும். திரையிலிருந்து இவ்வூற்றுக் கண்களின் தூரத்தை அளவிட்டுக்குறிக்கவும். இவை d_1, d_2 என்றும், ஊற்றுக்கண்களின் ஒளி தருதிறன்கள் முறையே I_1, I_2 என்றும் கொண்டால்

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$ இதுவே இவற்றின் வர்த்தித் திறன்களின் (Candle power) தகவாகும்.

$$\frac{\text{A-யின் வர்த்தித்திறன்}}{\text{B-யின் வர்த்தித்திறன்}} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

சோதனை 38 :—

புன்சன் ஒளிமானியை உபயோகித்து இரு ஒளி ஊற்றுக் கண்களின் ஒளிதருதிறன்களை ஒப்பிடுக.

புன்சன் ஒளிமானியில் ஒரு காகிதத்திரை உள்ளது. இதன் மத்தியில் ஒரு சிறிய அளவுக்கு எண்ணெய் தடவப்பட்டிருக்கிறது. இப்பாகம் ஒளிகசியும் தன்மையுடையது (tranlucent). ஒளி ஊற்றுக்கண்களை இத்திரையின் இருபுறங்களிலும் வைத்து (படம் 49) இவை ஒரே நேர் கோட்டில் இருக்கச்செய்யவும். ஒரு ஊற்றுக்கண்ணை நிலையாக வைத்து மற்றொன்றை நகர்த்தி திரையில் எண்ணெய் தடவப்பட்ட இடமும் மற்ற இடமும் ஒரே ஒளியுடனிருக்கும்படிச் செய்யவும். இப்பொழுது எண்ணெய் தடவப்பட்ட இடம் திரையின் மற்றபாகத்திலிருந்து தனியாகத் தெரியாது. திரையிலிருந்து இவ்வூற்றுக்கண்களின் தூரத்தை (d_1, d_2), அளவிடவும்.

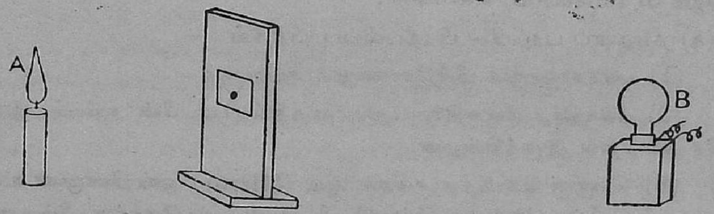
A, B இவற்றின் ஒளிதருதிறன்கள் முறையே I_1, I_2 என்றும், திரையிலிருந்து இவற்றின் தூரம் முறையே d_1, d_2 என்றும் கொண்டால்

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

அதாவது

$$\frac{\text{A யின் வர்த்தித்திறன்}}{\text{B யின் வர்த்தித்திறன்}} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$$. இதைக் கணக்கிடுக.

தூரம் d_1 ஐ மாற்றி ஒவ்வொருதரமும் d_2 வைக்கண்டு, $\frac{d_1^2}{d_2^2}$ ஐக் கணக்கிடுக.



படம்—49

சமதளப் பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்
Reflection at plane surfaces

இலக்கணம் :—

ஒரு ஒளிக்கதிர் ஒரு பரப்பைத் தாக்கும் புள்ளிக்கு படுதானம் (Point of incidence) எனப்பெயர். இவ்வொளிக்கதிர் (incident ray) படுகதிர் எனப்படும். இக்கதிர் பிரதிபலித்துத் திரும்பும். பிரதிபலித்துத் திரும்பும் கதிருக்கு மீள்கதிர் (Reflected ray) எனப்பெயர். படு கதிருக்கும் படுதானத்தின் வழி வரையப்பட்ட லம்பத்திற்கும் (normal) இடையே உள்ள கோணம் படுகோணம் (angle of incidence). லம்பத்திற்கும், மீள் கதிருக்கும் இடைப்பட்ட கோணம் மீள் கோணம் (angle of reflection) எனப்படும்.

(a) சமதளப் பரப்பில் பிரதிபலிப்பு விதிகள் :—

(1) படுகோணமும் மீள்கோணமும் சமமாகும்

(2) படுகதிர், மீள்கதிர், படுதானத்தில் பரப்பின் லம்பம் இவை ஒரே தளத்தில் இருக்கின்றன.

(b) மெருகு கொடுத்த சமதள ஆடி (Mirror) ஒன்றின்முன் உள்ள ஒரு புள்ளியின் (Point object) பிரதி பிம்பம் தோற்ற பிம்பமாகும் (virtual image). இந்தப்பிம்பத்தைத் திரையில் விழச்செய்ய முடியாது. ஆடிக்கு முன்னால் புள்ளி எவ்வளவு தூரத்தில் இருக்கிறதோ அதே தூரத்தில் தான் இப்புள்ளியின் பிம்பம் ஆடிக்குப்பின்னால் இருக்கும். தவிர புள்ளியையும் அதன் பிம்பத்தையும் சேர்க்கும் நேர்கோடு ஆடி யின் பரப்புக்கு லம்பமாக இருக்கும். இவை பிரதி பிம்பவிதிகள் எனப் படும்.

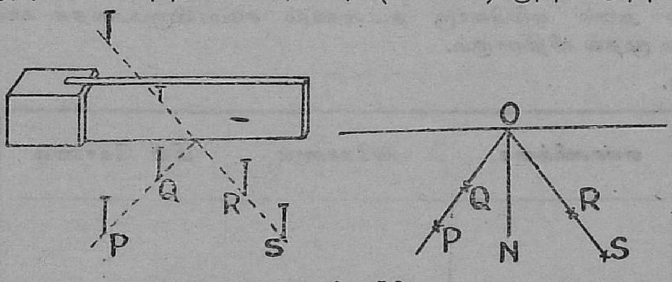
(c) ஒரு ஒளிக்கதிர் சமதள ஆடி ஒன்றில் பட்டு பிரதிபலிப்பதாகக் கொள்வோம். இப்பொழுது ஆடியை ஒரு சிறிய கோண அளவு திருப் பினால் மீள்கதிரும் திரும்பும். ஆடி திரும்பின கோணம் θ° என்றால் ஒரு படுகதிரின் மீள் கதிர் திரும்பும் கோணம் இதைப்போல் இரண்டு மடங்குள்ளது. அதாவது $2\theta^{\circ}$. இதுவே ஆடி திரும்பும்பொழுது மீள் கதிர் திரும்பும் விதியாகும்.

சோதனை 39 :

(a) பிரதிபலிப்பு விதிகளை நிரூபித்துக் காட்டுக.

ஒரு மரப்பலகையின்மீது ஒரு காகிதத்தை விரித்து, அதை நான்கு மூலைகளிலும் மெழுகால் ஒட்டவும். காகிதத்தின்மேல் AB என்ற ஒரு நேர்கோடு கிழித்து அதன்மீது ஒரு சிறிய சமதள ஆடியை வைத்து, ஆடியின் ரசம் பூசப்பட்ட பரப்பின் ஓரம் இக்கோட்டின்மீது பொருந்தி

இருக்கச்செய்யவும். ஆடிக்குமுன்னால் P, Q என்ற குண்டு ஊசிகளைச் செங்குத்தாகப் படத்தில் காட்டியபடி (படம் 50) குத்தி நிறுத்தவும்.



படம்—50

இதன் பிம்பங்களை ஆடிக்குள் கண்டு அவை ஒரே நேர்க்கோட்டில் தெரியும்படி கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். இதே நேர்க்கோட்டில் இருக்குமாறு R, S என்ற மற்றும் இரண்டு ஊசிகளை செங்குத்தாகக் குத்திநிறுத்தவும். இப்பொழுது P, Q வின் பிம்பங்களும், R, S என்ற ஊசிகளும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் தென்படவேண்டும். ஒரே உயரமுள்ள ஊசிகளை உபயோகப்படுத்தினால் ஆடியுள் பார்க்கும்பொழுது P, Q வின் தலைகளும், R, S என்ற ஊசிகளின் தலைகளும் ஒரே தளத்தில் பலகைக்கு இணையாக இருப்பது நன்கு விளங்கும். ஆடி செங்குத்தாக இருப்பதால் ஊசியின் உயரத்தில் வரையப்பட்ட ஆடியின் லம்பமும் பலகைக்கு இணையாக இருக்கவேண்டும். ஊசிகளின் தலைகளைச் சேர்க்கும் கோடுகளை ஒளிக்கதிர்களாகப் பாவித்தால், படுகதிர், மீள்கதிர், படுதானத்தில் ஆடியின் லம்பம் இவை ஒரே தளத்தில் இருக்கிறது என்று நிரூபித்ததாகிறது.

ஆடியையும், ஊசிகளையும் எடுத்துவிட்டு ஊசிமுனைகளைச் சேர்க்கும் PQ, RS என்ற நேர்கோடுகளை வரைந்து ஆடியின் கோட்டை O என்ற புள்ளியில் தொடச்செய்யவும். இப்புள்ளியிலிருந்து ON என்ற லம்பம் வரைக. P Q படுகதிராகும். R S மீள்கதிர். கோணம் PON படுகோணமாகும். கோணம் SON மீள்கோணமாகும். இக்கோணங்களை அளந்து சமமாக இருப்பதைக் காணலாம்.

மறுபடியும் ஆடியை முன்போல் AB என்ற கோட்டில் வைக்கவும். P என்ற ஊசியை முன் இருந்த இடத்திலேயே குத்தி நிறுத்தவும். Q வை கொஞ்சம் தள்ளி Q_1 என்ற இடத்தில் குத்தி நிறுத்தவும். PQ_1 என்பது ஒரு படுகதிராகும். முன் போல் இதன் மீள்கதிரை (R_1 S_1) (படம் 51)க் காண்க. ஊசி Q வை எடுத்து Q_2 என்ற இடத்தில் நகர்த்தி குத்தி நிறுத்தி படுகதிர் PQ_2 வின் மீள்கதிரை (R_2 S_2)க் கண்டு வரைக.

ஆடியை எடுத்து விட்டு இக்கதிர்களை நீட்டி ஆடியை O_1 O_2 என்ற புள்ளிகளில் தொடச்செய்து படுகோணம், மீள்கோணம் இவற்றை அளந்து அவை ஒவ்வொரு தடவையும் சமமாயிருப்பதைக் காணவும். இதுவே முதல் விதியாகும்.

நிரலீடு.

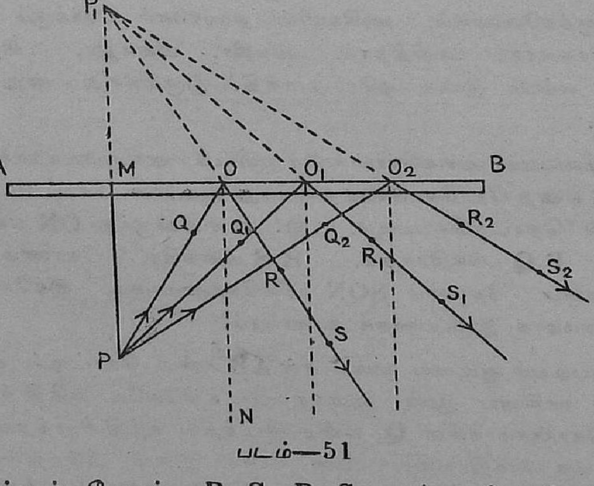
எண்ணிக்கை	படுகோணம்	மீள் கோணம்

(b) சோதனை. பிரதி பிம்ப விதிகள் :—

சமதள ஆடியில் தோன்றும் ஒரு புள்ளியின் பிம்பத்தின் நிலையை இரண்டு விதமாகக் காணலாம் :—

(1) மீள் கதிர்வழி:—

முன் சோதனையில் செய்ததைக் கொண்டே P யின் பிம்பத்தின் நிலையைக் (P_1) காணலாம். P_1 என்ற பிம்பம் RS (படம் 51) என்ற



படம்—51

நேர்க்கோட்டின் மேலும், R_1 S_1, R_2 S_2 என்ற நேர்க்கோடுகளிலும் இருப்பதாகத் தோன்றுகின்றன. இப்பொழுது RS, R_1 S_1, R_2 S_2

இக்கோடுகளை பின்புறமாக நீட்டிவிடவும். இம்மூன்றும் P_1 என்ற ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கும். இப்புள்ளியே Pயின் பிம்பமாகும். PP_1ஐ ஒரு நேர்க்கோட்டால் சேர்க்கவும். இது ஆடியை M என்ற புள்ளியில் சந்திக்கும். PM, P_1 M என்ற தூரங்களை அளவிடவும். இவை சமமாக இருக்கும். PMO என்ற கோணத்தை அளவிடுக. இது 90° யாக இருப்பதைக் கவனிக்கவும். ஆகையால் ஆடியிலிருந்து P என்ற புள்ளி எவ்வளவு தூரத்தில் இருக்கிறதோ அதே தூரத்தில் ஆடிக்குப்பின்னால் அதன் பிம்பம் P_1 இருக்கிறது என்றும், புள்ளி P, அதன் பிம்பம் P_1 இவற்றைச்சேர்க்கும் நேர்கோடு ஆடியை நேர்கோணத்தில் சந்திக்கிறது என்றும் தெரிகிறது.

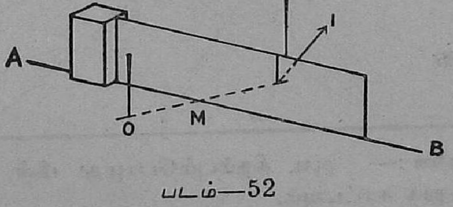
Pஐ ஆடியிலிருந்து பல தூரங்களில் வைத்து இச்சோதனையைச் செய்து இவ்விதியை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

நிரலீடு :

எண்ணிக்கை	ஆடியிலிருந்து புள்ளி P ன் தூரம PM	ஆடியிலிருந்து பிம்பம் P_1ன் தூரம் P_1 M	கோணம் PMO
1			
2			
3			

(2) இடமாறு தோற்றவழி :— (**Parallax method**).

முன்போல் பலகையிலுள்ள காகிதத்தில் வரைந்த AB என்ற கோட்டில் ஆடியை வைக்கவும். (படம் 52.)



படம்—52

1″ உயரமுள்ள (ஆடியின் உயரத்திற்கு சமமாக உள்ளது) ஊசி ஒன்றை ஆடியின்முன் O என்ற இடத்தில் செங்குத்தாகக் குத்தி

நிறுத்தவும். 2 அங்குல உயரத்தில் மற்ருெரு ஊசியை ஆடியின் பின் புறத்தில் ஒரு இடத்தில் குத்தி நிறுத்தவும். ஆடியினுள் ஊசியின் பிம்பம் தெரியும். ஆடிக்குமேல் பின்புறம் குத்தி நிறுத்தப்பட்ட ஊசியின் மேல் பாகம் தெரியும். இவ்விரண்டையும் ஒரே செங்குத்து கோட்டில் இருக்கும்படி கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். இப்பொழுது கண்ணை இடது புறமாகச் சற்று நகர்த்தவும். பின்புறம் இருக்கும் ஊசி இடது புறமாகவும் பிம்பம் வலது புறமாகவும் நகருவதாகத் தோன்றினல் ஊசி பிம்பத்தைவிட அதிக தூரத்தில் இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். இவ்வூசியை எடுத்து ஆடியின் அருகில் சற்று நகர்த்தி மறுபடி பரிசோதிக்கவேண்டும். கண்ணை இடது புறமாக நகர்த்தும்பொழுது ஊசி வலதுபுறமாகவும் பிம்பம் இடது புறமாகவும் நகருவதாகத்தோன்றினல் பிம்பம் தூரத்திலும், ஊசி அருகிலும் இருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும். பிம்பமும், ஊசியும் ஒரே இடத்தில் இருந்தால், கண்ணை எப்படி நகர்த்தினலும் இரண்டும் பிரியாமல் நகரும். இவ்விதம் இருக்கும்படி ஊசியின் நிலையை மாற்றி அமைத்துக் காண்க. இப்பொழுது ஊசியின் நிலையே பிம்பத்தின் நிலையாகும். ஆடியை எடுத்து விட்டு கோட்டிலிருந்து இரண்டு ஊசிகளின் தூரத்தை அளவிட்டு அவை சமமாக இருப்பதைக் காணவும். இவ்விரண்டு ஊசிமுனைகளை ஒரு நேர்க் கோட்டால் சேர்த்து இதற்கும் ஆடியின் கோட்டிற்கும் இடைப்பட்ட கோணத்தை அளவிடுக. இன்னும் ஓரிரண்டுதரம் இச்சோதனையைச் செய்து வாசகங்களை நிரவிடவும்.

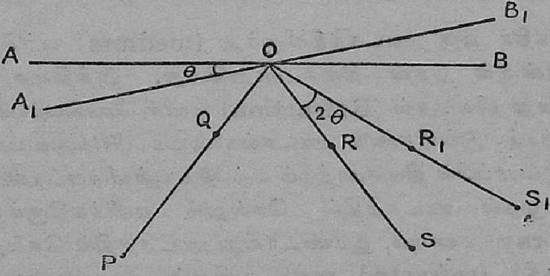
நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	ஆடியிலிருந்து பிம்பத்தின் தூரம் OM	ஆடியிலிருந்து புள்ளியின் தூரம் IM	கோணம் OMA
1			
2			
3			

(c) சோதனை :— ஆடி திரும்பும்பொழுது மீள் கதிர் திரும்பும் விதியை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

காகிதத்தில் AB, A_1B_1 என்ற இரண்டு கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று 5° சாய்ந்து இருக்கும்படி வரைக (படம் 53). இவை O என்ற புள்ளியில்

சந்திப்பதாகக்கொள்வோம். **OP** என்ற மற்றொரு கோடு வரைக. இக் கோட்டில் **P, Q** என்ற இடங்களில் இரண்டு ஊசிகளைச் செங்குத்தாக



படம் – 53

நிறுத்தவும். ஆடியின் விளிம்பை **A B**-ல் வைத்து நிறுத்தி, **P Q** என்ற படுகதிரின் மீள் கதிரை (**RS**), இரண்டு ஊசிகளைக் குத்திக் காண்க. ஆடியைச் சற்று திருப்பி A_1B_1 என்ற கோட்டுடன் வைத்து மறுபடியும் **PQ** என்ற படுகதிரின் மீள் கதிரை (R_1S_1)க் காண்க. ஆடியை எடுத்து விட்டு **RS**, R_1S_1 இவற்றைப் பின்பக்கம் நீட்டி சந்திக்கச் செய்து அவற்றினிடையே உள்ள கோணத்தை (ϕ) அளக்கவும். ஆடி திரும்பின கோணம் θ ($\theta = AOA_1$) என்றால் மீள் கதிர் திரும்பினகோணம் $\phi = 2\theta$ எனஇருப்பதைக் காணவும்.

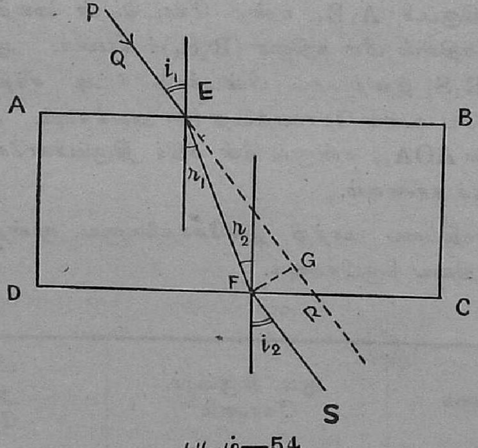
θ வின் மதிப்பை மாற்றி இச்சோதனையை மூன்று தடவைகள் செய்து இவ்விதியை நிரூபிக்கவும்.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	ஆடி திரும்பும் கோணம்	மீள்கதிர் திரும்பும் கோணம்
1		
2		
3		

சமதளப் பரப்புகளில் ஒளிமுறிவு
Refraction at plane surfaces.

ஒளிக்கதிர் ஒரு ஊடகத்திலிருந்து (medium) மற்றொரு ஊடகத்திற்குச் சென்றால் அதன் திசை மாறுகிறது. இத்திசை மாற்றம் ஒளி முறிவு அல்லது விலகுதல் (Refraction) எனச் சொல்லப்படுகிறது. இத்திசை மாற்றம் இவ்விரண்டு ஊடகங்களையும் பிரிக்கும் பரப்பிலே நிகழ்கிறது. இப்பரப்பில் திசைமாற்றம் ஏற்படும் புள்ளிக்குப் படுதானம் எனப் பெயர். முதல் ஊடகத்தில் செல்லும் ஒளிக்கதிருக்குப் படுகதிர் (incident ray) எனவும், இரண்டாவது ஊடகத்தில் செல்லும் கதிருக்கு விலகிய கதிர் (refracted ray) என்றும், இரண்டாவது ஊடகத்திலிருந்து மறுபடி முதல் ஊடகத்தில் வெளிப்படும் கதிருக்கு விடுகதிர் (emergent ray) என்றும் கூறலாம். படத்தில் ABCD (படம் 54) என்பது ஒரு நீள்சதுரக் கண்ணாடி, PQE படுகதிர். i_1 படுகோணம், EF விலகிய கதிர். r_1 விலகிய கோணம். r_2 கண்ணாடியின் எதிர்



படம்—54

பரப்பில் விலகிய கோணம், FRS விடுகதிர், i_2 விடுகோணம், FG படுகதிருக்கும், விடுகதிருக்கும் உள்ள பக்கப்பெயர்ச்சி தூரம் (lateral displacement)

சமதளப்பரப்பில் ஒளிமுறிவு விதிகள் :—

(1) படுகதிர், படுதானத்தில் வரையப்பட்ட லம்பகம் விலகிய கதிர் இவை ஒரே தளத்தில் இருக்கின்றன.

(2) இரண்டு ஊடகங்களுக்கு இடையே ஒளிமுறிவு ஏற்படும் பொழுது, படுகோணத்தின் நெடுக்கைக்கும், விலகிய கோணத்தின் நெடுக்கைக்கும் உள்ள தகவு இவ்விரண்டு ஊடகங்களைக் குறிக்கும் ஒரு மாறிலியாகும்.

முதல் ஊடகம் காற்றாக இருந்து, இரண்டாவது ஊடகம் கண்ணாடியாக இருந்தால் இவற்றின் இம்மாறிலிக்கு கண்ணாடியின் விலகல் எண் **(refractive index)** *எனப்பெயர். இம்மாறிலியை μ என்ற எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம். கண்ணாடியின் விலகல் எண்*

$$\mu = \frac{\text{படுகோண நெடுக்கை (காற்றில்)}}{\text{விலகிய கோண நெடுக்கை (கண்ணாடியில்)}} = \frac{\text{Sin } i}{\text{Sin } r}$$

(3) *ஒரு நீண்ட சதுரக் கண்ணாடியின் வழியே சென்று வெளிவரும் விடுகதிருக்கும் படுகதிருக்குமுள்ள பக்கப்பெயர்ச்சி*

$$FG = t \times \frac{\text{நெடுக்கை } (i_1 - r_1)}{\text{கிடக்கை } r_1}$$

$$FG = t \times \frac{\text{நெடுக்கை } (i_1 - r_1)}{\text{கிடக்கை } r_1} = \frac{t \times \text{Sin } (i_1 - r)}{\cos r_1}$$

t என்பது நீள் சதுரக் கண்ணாடியின் அகலம் BC யாகும்.

சோதனை 40 :—

சமதளப்பரப்பில் ஏற்படும் ஒளிமுறிவு விதிகளை நிரூபிக்கவும் :—

ஒரு பலகையின் மேல் தாளை விரித்து அதன் மேல் ஒரு நீள் சதுரக் கண்ணாடி ஒன்றை வைத்து அதன் விளிம்பின் வரை ABCD யை (படம் 54) காகிதத்தில் குறித்துக்கொள்க. கண்ணாடியை எடுத்துவிட்டு AB-ல் E என்ற புள்ளி வழியாக AB-க்கு லம்பகமும், EP என்ற ஒரு சாய்வு நேர்க்கோடும் வரைக. PE-ல் P, Q என்ற இடங்களில் இரண்டு குண்டு ஊசிகளைச் செங்குத்தாக குத்தி நிறுத்தவும். கண்ணாடியை வரையுடன் சேர்த்துவைத்து CD என்ற விளிம்பின் வழியாக P, Q என்ற ஊசிகளின் விலகிய பிம்பங்களைக் கண்டு அவை ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கும்படி கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். இக்கோட்டிலிருக்கும்படி R, S என்னுமிடங்களில் மற்றும் இரண்டு ஊசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். இப்பொழுது P, Q இவற்றின் பிம்பங்களும் R, S என்ற ஊசிகளும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கவேண்டும். பிம்பங்களின் முனைகளும், R, S என்ற புள்ளிகளில் குத்தப்பட்ட ஊசிகளின் முனைகளும் காகிதத்தின் தளத்தில் இருப்பதைக் கவனிக்கலாம். இக்கதிரின் படுதானத்தில் கண்ணாடி விளிம்பின் லம்பகமும் இத்தளத்தில் இருக்கவேண்டும். ஆகையால் படுகதிர், விலகிய கதிர்,

படுதானத்தில் லம்பகம் இவை ஒரே தளத்தில் இருக்கின்றன என்று தெரிகிறது.

ஊசிமுனைகளை காகிதத்தில் குறித்துக்கொண்டு ஊசிகளையும், கண்ணாடியையும் எடுத்துவிடுக. S, R என்ற புள்ளிகளை ஒரு நேர் கோட்டால் சேர்த்து இக்கோட்டை நீட்டி CD-ஐ F-ல் சந்திக்கச் செய்யவும். EF என்ற நேர்க்கோட்டை வரையவும். EF கண்ணாடிக்குள் விலகிய கதிராகும். படுகோணம் i_1, விலகியகோணம் r_1 இவற்றை அளவிடுக. இதேபோல் விலகிய கோணம் r_2, விடுகோணம் i_2 இவற்றையும் அளவிடுக. இக்கோணங்களின் நெடுக்கைகளைக் கண்டு அவற்றின் தகவைக் கணக்கிடுக. இது ஒரு மாறிலியாயிருப்பதைக் கண்டு குறிக்கவும். இம்மாறிலியே கண்ணாடியின் விலகல் எண், அதாவது

$$\frac{\text{நெடுக்கை } i_1}{\text{நெடுக்கை } r_1} = \frac{\text{நெடுக்கை } i_2}{\text{நெடுக்கை } r_2} = \mu.$$

$$\left[\frac{\text{Sin } i_1}{\text{Sin } r_1} = \frac{\text{Sin } i_2}{\text{Sin } r_2} = \mu\right]$$

PQ வைப் புள்ளிக்கோட்டால் நீட்டி விடவும். PQ, RS இவை இரண்டும் இணையாய் இருப்பதைக் கவனிக்கவும். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள பக்கப்பெயர்ச்சி (இடைப்பட்ட தூரம்) FG $= d$ஐ அளவிடுக. BC-யின் நீளம் t ஐ அளந்துகொள்க. இப்பக்கப்பெயர்ச்சி $t \times \frac{\text{நெடுக்கை } (i_1 - r_1)}{\text{கிடக்கை } r_1}$ க்கு சமமாக இருப்பதை கணக்கிட்டு காட்டுக. படுகோணம் i_1ஐ மாற்றி பல முறை இச்சோதனையைச்செய்து நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	கோணங்கள்				கண்ணாடியின் விலகல்எண் μ		பக்கப் பெயர்ச்சி d	$t \times \frac{\text{நெடுக்கை } i_1 - r_1}{\text{கிடக்கை } r_1}$
	i_1	r_1	i_2	r_2	$\frac{\text{நெடுக்கை } i_1}{\text{நெடுக்கை } r_1}$	$\frac{\text{நெடுக்கை } i_2}{\text{நெடுக்கை } r_2}$		

ஒளிமுறிவால் உண்டாகும் பிம்பங்கள்
(Formation of images by Refraction)

ஒரு பாத்திரத்தில் உள்ள நீரில் ஒரு குண்டு ஊசியைப் போட்டால் தண்ணீர்ப் பரப்பிலிருந்து அதன் ஆழம் தண்ணீரின் ஆழமாகும். ஆனால் அதன் பிம்பம் சற்று உயர ஏறி இருப்பதாக நமது கண்களுக்குத் தோன்று கிறது. தண்ணீர்ப் பரப்பிலிருந்து இப்பிம்பத்தின் தோற்ற ஆழம் ஊசியின் சுய ஆழத்தைவிட சற்று குறைவாக இருக்கும். இவ்விரண்டு ஆழத்திற்குமுள்ள தகவு தண்ணீரின் விலகல் எண் ஆகும்.

அதாவது, $\dfrac{\text{சுய ஆழம்}}{\text{தோற்ற ஆழம்}} = \mu$

சோதனை :—

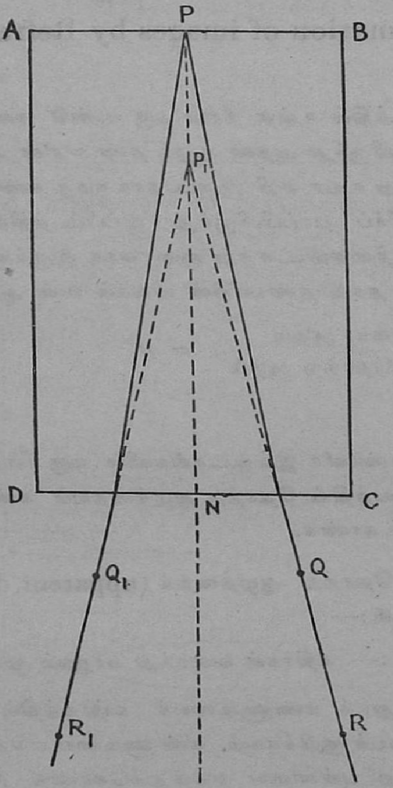
கண்ணாடி, தண்ணீர் இவ்வூடகங்களில் ஒரு பொருளின் சுய ஆழத்தையும் அதன் பிம்பத்தின் தோற்ற ஆழத்தையும் கண்டு ஊடகங்களின் விலகல் எண்களைக் காண்க.

பிம்பத்தின் தோற்ற ஆழத்தைக் (**apparent depth**) காண இரு முறை உண்டு அவை :—

முதல் முறை :— கதிர்கள் வரைந்து காணும் முறை.

ஒரு நீள் சதுரக் கண்ணாடியைக் காகிதத்தில் வைத்து அதன் விளிம்பின் வரையைக் குறிக்கவும். கண்ணாடியை எடுத்துவிட்டு **AB**-யில் (படம் 55) **P** என்ற புள்ளியை எடுத்துக்கொண்டு **AB**-க்கு **PN** என்ற லம்பகம் வரைக. **P**-யில் ஒரு குண்டூசியைச் செங்குத்தாக குத்தி நிறுத்தி கண்ணாடியை மறுபடி முன்போல் வைத்து ஊசியின் பிம்பத்தை விளிம்பு **CD** வழியாக **NP** என்னும் திசையில் பார்க்கவும். **PN** என்ற கோட்டிற்கு வலது புறத்தில் சமீபமாக ஒரு ஊசி (**Q**) யைக் குத்தவும். இவ்வூசியும் **P**-யின் பிம்பமும் ஒரே நேர்கோட்டில் இருக்கும்படி கண்ணை வைத்துக்கொண்டு இதே கோட்டில் இருக்கும்படி **R** என்ற மற்றொரு ஊசியைக் குத்தவும். இப்பொழுது **Q, R** என்ற ஊசிகளும் **P**-யின் பிம்பமும் ஒரே நேர் கோட்டிலுள்ளன. **QR** என்ற கோடு, **PN** க்கு சமீபமாகவுள்ள ஒரு விடுகதிரைக் குறிக்கும். இதேபோல் **PN** க்கு இடது பக்கத்தில் Q_1R_1 என்ற ஒரு விடுகதிரைக் கண்டு வரைக. கண்ணாடியை

எடுத்துவிட்டு **RQ**, **R_1Q_1** இவற்றை நீட்டி **PN**ஐச் சந்திக்கச் செய்யவும். இவை **PN** என்ற கோட்டில் **P_1**-என்ற புள்ளியில் சந்திக்கும்.



படம்—55

P_1 என்ற புள்ளி **P**-யின் பிம்பம் இருக்குமிடத்தைக் காட்டுகிறது. **PN**, **P_1N** என்ற தூரங்களை அளவிடுக. **PN** என்பது கண்ணாடியில் ஊசியின் சுய ஆழம் **(Real depth)**. **P_1N**, கண்ணாடியில் **P**-யின் பிம்பத்தின் தோற்ற ஆழம். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள தகவைக் கணக்கிடவும். இத்தகவே கண்ணாடியின் விலகல் எண் ஆகும்.

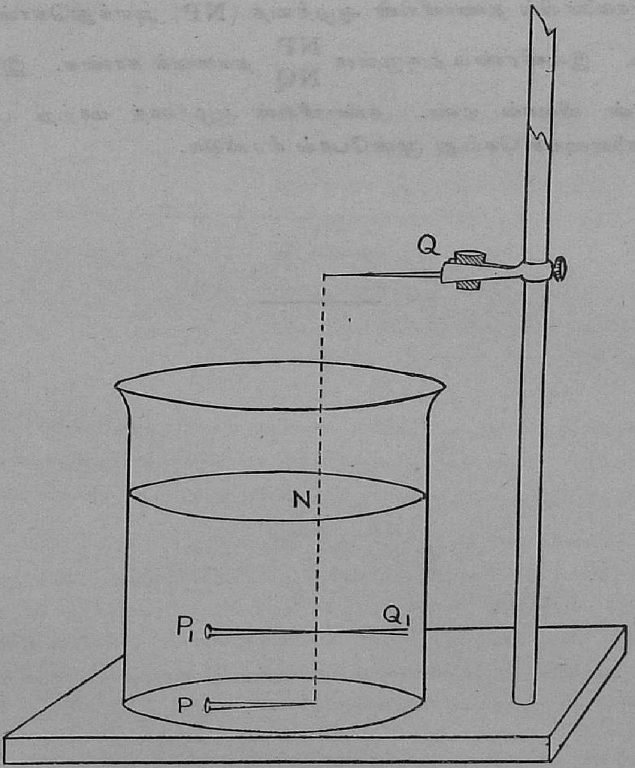
$$\frac{PN}{P_1N} = \mu.$$

கண்ணாடியைக் குறுக்களவில் வைத்து மறுபடியும் இச்சோதனையைச் செய்க.

நிரலீடு :

எண்ணிக்கை	சுய ஆழம் PN	தோற்ற ஆழம் P_1N	$\mu = \frac{PN}{P_1N}$

இரண்டாவது முறை :— இடமாறு தோற்ற வழி (**Parallax method**).



படம்—56

ஒரு குவளையிலுள்ள தண்ணீரில் ஒரு குண்டூசி **P**ஐப் போடவும். இதன் பிம்பத்தை நீர்மட்டத்திற்கு மேலிருந்து செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கிப்

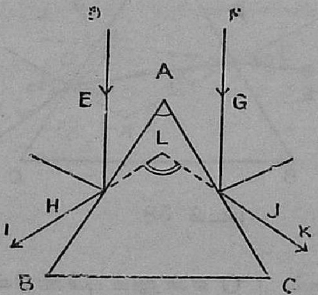
பார்க்கவும். P-யின் பிம்பம் கொஞ்சம் மேல் ஏறி (படம் 56) P_1 என்னு மிடத்தில் இருப்பதாகத் தோன்றும். நீர் மட்டத்திலிருந்து பிம்பத்தின் ஆழத்தைக்காண மற்றொரு குண்டூசி (Q)யைப் படுகை தளத்தில் நீர் மட்டத்திற்கு மேல் ஒரு தாங்குகாலில் கவ்வப்பட்ட தக்கையொன்றில் குத்தி நிறுத்தவும். இவ்வூசியை நீர்மட்டம் பிரதிபலித்துக் காட்டும். இதன் பிம்பம் Q_1 தண்ணீரினுள் தோன்றும். இடமாறு தோற்ற வழியினால், Q வை மேலேற்றி அல்லது கீழிறக்கி P_1, Q_1 என்ற இரண்டு பிம்பங்களும் ஒரே தளத்தில் இருக்கச் செய்யவும். பிரதிபலிப்புப் பிம்ப விதியிலிருந்து $Q_1N = NQ$ எனத் தெரியும். QN என்ற உயரத்தை அளவிடுக. இதுவே நீர்மட்டத்திலிருந்து P_1 என்ற பிம்பத்தின் தோற்ற ஆழம். குவளையில் தண்ணீரின் ஆழத்தை (NP) அளந்துகொள்க. இது சுய ஆழம். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள $\frac{NP}{NQ}$ தகவைக் காண்க. இத்தகவே தண்ணீரின் விலகல் எண். தண்ணீரின் ஆழத்தை மாற்றி பலமுறை இச்சோதனையைச் செய்து முன்போல் நிரலிடுக.

ஒரு முப்பட்டையில் ஏற்படும் ஒளி முறிவு
(Refraction through a Prism)

சோதனை 41 :—

கண்ணாடி முப்பட்டையின் கோணத்தைக் காண்க.

ஒரு மரப்பலகை மீது ஒரு வெள்ளைக் காகிதத்தை நாற்புறமும் தைத்து, அதன்மேல் **DE, FG** என்ற இரண்டு இணைகோடுகள் வரைக. **ABC** என்ற முப்பட்டையை அதன் விலக்க விளிம்பு **A** இவ்விரண்டு கோடுகளுக்குமிடையே சமசீராய் நிற்குமாறு வைத்து (படம் 57) அதன் விளிம்பு வரையைக் குறிக்கவும். **D, E** என்ற புள்ளிகளில் இரண்டு குண்டூசிகளைச் செங்குத்தாக நிறுத்தவும். முப்பட்டையின் **AB** என்ற பரப்பிற்கு **DE** என்பது ஒரு படு கதிராகும். இதன் மீள் கதிரை (**HI**), இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்திக் காணவும். **F, G** என்ற புள்ளிகளில் இரண்டு ஊசிகளைக் குத்தி **FG** ஐ பரப்பு **AC**-க்கு படுகதிராகக் கொண்டு அதன் மீள் கதிரை (**JK**) இதே விதம் காணவும். ஊசிகள் முப்பட்டை இவற்றை எடுத்துவிட்டு **IH, KJ** என்ற மீள் கதிர்களை நீட்டி **L** என்னும் புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்யவும். **ILK** என்ற கோணத்தை அளவிடுக. இது முப்பட்டையின் கோணத்தைப்போல் (**A**) இரண்டு மடங்குள்ளது. ஆகையால் $A = \frac{ILK}{2}$. இதைக் கணக்கிடுக.



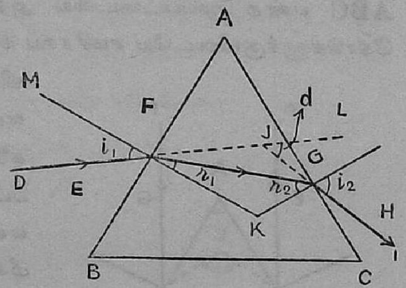
படம்—57

சோதனை 42 :—

ஒரு முப்பட்டைக்கு $i-d$ உருவகம் (Curve) வரைந்து, அதன் நீச திசைமாற்றக் கோணத்தைக் (angle of minimum deviation) கண்டு கண்ணாடியின் விலகல் எண்ணை கணக்கிடுக.

ஒரு மரப்பலகைமேல் விரித்து, நாற்புறமும் ஒட்டப்பட்ட ஒரு காகிதத்தின்மீது ஒரு கண்ணாடி முப்பட்டையை, அதன் விலக்க விளிம்பு செங்குத்தாக இருக்குமாறு வைத்து அதன் விளிம்பு (**ABC**) வரையைக் குறிக்க

வும். முப்பட்டையை எடுத்துவிட்டு AB-யில் F என்ற ஒரு புள்ளியிலிருந்து AB-க்கு FM என்ற லம்பகம் வரைக (படம் 58). கோணம் MFD 35° இருக்குமாறு அளந்து FD என்ற மற்றொரு நேர்க்கோடு வரைக. முப்பட்டையை அதன் விளிம்பு வரையில் வைத்து FD-யில் D, E என்ற புள்ளிகளில் இரண்டு குண்டூசிகளை குத்தி நிறுத்தவும். இப்பொழுது AC என்ற விளிம்பினுள் D, E என்ற ஊசிகளின் பிம்பங்களைக் கண்டு அவை ஒரே நேர்க்கோட்டில் தோன்றுமாறு கண்ணை வைத்துக்கொண்டு இதே கோட்டில் இருக்கும்படி H, I என்ற மற்றும் இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தி நிறுத்தவும். இப்பொழுது D,E என்ற ஊசிகளின் பிம்பங்களும் H,I என்ற ஊசிகளும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கும். ஊசி முனைகளைக் காகிதத்தில் குறித்துக்கொண்டு ஊசிகளையும் முப்பட்டையும் எடுத்து விடுக. IH என்ற கோட்டை வரைந்து நீட்டி AC ஐ G என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்யவும். FG என்ற புள்ளிகளை ஒரு நேர்க்கோட்டில் சேர்க்கவும். G என்னும் புள்ளியின் வழியாக AC-க்கு லம்பம் வரைக. DF, IG என்ற கோடுகளை புள்ளிக் கோடுகளால் நீட்டி J என்னும் புள்ளியில் சந்திக்கச்செய்யவும். படத்தில் கோணம் i படுகோணம், r_1, r_2 விலகிய கோணங்கள், i_2 விடுகோணம் L J H $= d$ கதிரின் திசை மாற்றக் கோணம். இக்கோணங்களை அளவிட்டுக் குறிக்கவும்.



படம் 58

இப்பொழுது (1) $\frac{\text{நெடுக்கை } i_1}{\text{நெடுக்கை } r_1} = \frac{\text{நெடுக்கை } i_2}{\text{நெடுக்கை } r_2} = \mu$

(2) $r_1 + r_2 = A$

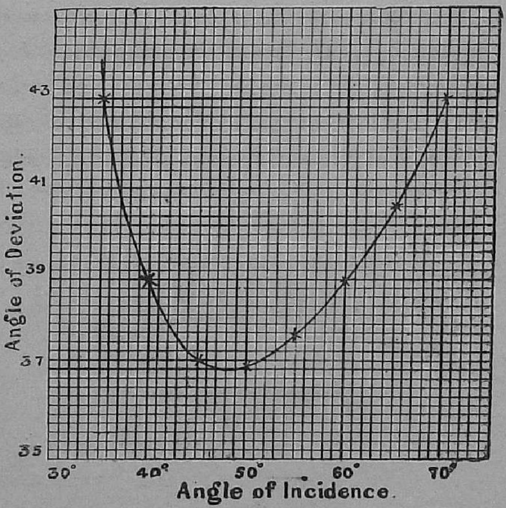
(3) $i_1 + i_2 = A + d$

இவற்றைக் கணக்கிட்டுப் பார்க்கவும். படு கோணத்தை 40° 45°, 50°, 55° அளவுகளுக்கு மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் இவற்றைக் கணக்கிட்டு நிரலீடு செய்க.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	i_1	r_1	i_2	r_2	d	$\frac{\text{நெடுக்கை } i_1}{\text{நெடுக்கை } r_1} = \mu$	$\mu = \frac{\text{நெடுக்கை } i_2}{\text{நெடுக்கை } r_2}$	$r_1 + r_2$	$i_1 + i_2$	$A + d$

ஒரு சதுரத்தாளில் கோணம் i ஐ படுகை அச்சிலும் கோணம் d ஐ நிலையச்சிலும் குறித்து $i-d$ உருவகம் ஒன்று வரைக. இதன் அமைப்பைப் படத்தில் காட்டி இருக்கிறது (படம் 59). இவ்வரைப் படத்திலிருந்து நீச திசைமாற்றக்கோணம் (**Angle of minimum deviation**)



படம் 59

D ஐக்காண்க. முப்பட்டையின் கோணம் **A** என்றால் கண்ணாடியின் விலகல் எண் (**Refractive index**)

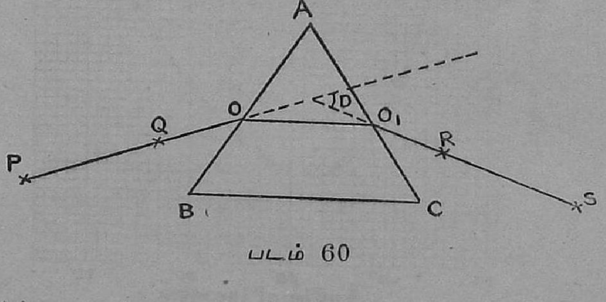
$$\mu = \frac{\text{நெடுக்கை}\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\text{நெடுக்கை}\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{\text{Sin}\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\text{Sin}\left(\frac{A}{2}\right)}$$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

சோதனை 43 :—

ஒரு கண்ணாடி முப்பட்டையின் நீச திசை மாற்றக் கோணத்தை நேராகக் கண்டு முப்பட்டையின் விலகல் எண்ணைக் கணக்கிடுக.

மரப்பலகையொன்றின்மீது விரித்துள்ள காகிதத்தில் முப்பட்டையை வைத்து அதன் விளிம்பின் (ABC) வரையைக் குறிக்கவும். AB, AC-யில் A-யிலிருந்து சமதூரத்தில் இரண்டு புள்ளிகளை (O, O_1)-க் குறிக்கவும். அதாவது $AO = AO_1$ (படம் 60). O, O_1 என்ற புள்ளிகளில் இரண்டு குண்டூசிகளைச் செங்குத்தாகக் குத்தி நிறுத்தவும். முப்பட்டையை அதன் விளிம்பு வரையில் வைத்து AB என்ற பாகத்தின் வழியாக O என்ற புள்ளியிலுள்ள ஊசியையும் O_1 என்ற புள்ளியிலுள்ள ஊசியின் பிம்பத்தையும் ஒரே நேர்க்கோட்டிலிருத்திக் கண்டு இக்கோட்டிலேயே இருக்கும்படி P என்ற புள்ளியில் மற்றொரு ஊசியைக் குத்தி நிறுத்தவும். இப்பொழுது P, O என்ற புள்ளிகளில் நிற்கும் ஊசிகளும் O_1 என்ற புள்ளியிலுள்ள ஊசியின் பிம்பமும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கும். இதே விதம் P, O என்ற புள்ளிகளில் நிற்கும் ஊசிகளின் பிம்பங்களையும். O_1 என்ற புள்ளியிலுள்ள ஊசியையும் விளிம்பு AC வழி



படம் 60

யாகப் பார்த்து அவற்றை ஒரே நேர்கோட்டில் இருக்கும்படிக் கண்ணை வைத்துக்கொள்ளவும். இதே கோட்டில் இருக்கும்படி மற்றொரு ஊசியைக் (S) குத்தி நிறுத்தவும். இதன் குத்துப்புள்ளி S. இப்பொழுது P, O இவற்றின் பிம்பங்களும், O_1, S என்ற புள்ளிகளும் ஒரே நேர்க்

கோட்டில் இருக்கும். ஊசிகளையும் முப்பட்டையையும் எடுத்துவிட்டு PO, OO_1, O_1S என்ற கோடுகளை வரைக. இப்படத்தில் PO படுகதிர், OO_1 விலகிய கதிர், O_1S விடுகதிர். இதிலுள்ள விலகிய கதிர் OO_1, முப்பட்டையின் AB, AC என்ற இரு பக்கங்களுக்கும் சமசீராய் இருக்கிறது. PO, SO_1 இவற்றை நீட்டி படத்தில் காட்டியவாறு சந்திக்கச் செய்து, D என்னும் கோணத்தை அளவிடுக. இதுவே இம் முப்பட்டையின் நீசதிசை மாற்றக்கோணம். முப்பட்டையின் கோணத்தை

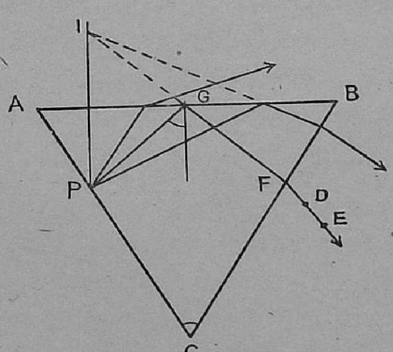
A என்று குறித்தால் இதன் விலகல் எண் $\mu = \dfrac{\text{நெடுக்கை}\left(\dfrac{A+D}{2}\right)}{\text{நெடுக்கை}\left(\dfrac{A}{2}\right)}$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

சோதனை 44 :—

ஒரு முப்பட்டையிலே மாறுதானக் கோண்த்தைக் (critical angle) கண்டு அதன் விலகல் எண்ணைக் காண்க.

மரப்பலகையொன்றின்மீது விரித்துள்ள காகிதத்தின்மேல் ஒரு சமபக்க முப்பட்டையை (equilateral prison) வைத்து அதன் விளிம்பு (ABC) வரையைக் குறிக்கவும். P என்ற ஒரு குண்டூசியை விளிம்பு AC-ஐ ஒட்டி செங்குத்தாகக் குத்தி நிறுத்தவும். P என்ற ஊசி AB என்ற பரப்பால் (படம் 61) பிரதிபலித்து BC-யின் வழியாகத் தெரியும். இவ்விதம் தெரியும் பிம்பத்தைப் பார்த்துக்கொண்டு கண்ணை மெதுவாக C-யிலிருந்து B-ஐ நோக்கி நகர்த்தவும். P-யின் பிம்பம் முதலில் தெரியாது. பிறகு மிகவும் மங்கலாகப் புலப்படும். கண் ஓரிடத்திற்கு வந்தவுடன் மங்கலாக இருக்கும் பிம்பம் திடீரெனப் பிரகாசமடையும். இவ்விடத்தில் கண்ணை வைத்துக் கொண்டு இதே திசையில் D, E என்ற இரண்டு குண்டூசிகளைக் குத்தவும். இவ்விரண்டு ஊசிகளும் P-யின் பிம்பமும் ஒரே நேர்க்கோட்டில் இருக்கவேண்டும். ஊசி முனைகளைக் காகிதத்தில் குறித்துக்கொண்டு ஊசிகளையும் முப்பட்டையையும் எடுத்துவிடவும். DE-யை ஒரு நேர்கோட்



படம் 61

டால் சேர்த்து நீட்டி BC-யை F என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்யவும். AB-யில் P-யின் பிரதிபலிப்பு பிம்பத்தைக் (I) காணவேண்டும். P-யிலிருந்து AB-க்கு ஒரு லம்பகம் (PI) வரையவும். AB-யிலிருந்து P எவ்வளவு தூரத்தில் இருக்கிறதோ அதே தூரத்தில் லம்பகத்தில் I என்ற புள்ளியைக் கண்டு குறிக்கவும். I என்ற புள்ளியே P-யின் பிரதிபலிப்பு பிம்பம். I F என்ற நேர்கோட்டை வரைந்து AB-ஐ G-யில் சந்திக்கச் செய்யவும். P, G என்ற புள்ளிகளை ஒரு நேர்க்கோட்டால் சேர்க்கவும். PGF என்ற கோணத்தை அளவிடுக. இக்கோணம் முப்பட்டையின் மாறுதானக்கோணம் C-ஐப்போல் இருமடங்காகும் ஆகையால் இதன் மாறுதானக்கோணம்,

$$C = \frac{\text{கோணம் PGF}}{2}$$

முப்பட்டையின் விலகல் எண் $\mu = \dfrac{1}{\text{செடுக்கை C}}$.

இதைக் கணக்கிடுக.

கோளப்பரப்புகளில் பிரதிபலித்தல்
(Reflection at spherical surfaces)

(*a*) கோளக் குழிவு ஆடிகள் (Spherical concave mirrors)

சோதனை 45 :—

கோளக் குழிவு ஆடியின் குவியத் தூரத்தைக் (focal length) காண்க :—

ஆடியின் குவியத்தூரத்தைப் பல முறைகளில் காணலாம். அவை யாவன :—

(1) தொலைப்பொருள் ஒன்றின் பிம்பத்தை ஒரு திரையில் குவிய வைத்து ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் காணும் முறை :—

தொலைப் பொருள்களிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் இணைக்கதிர்களாகும் (**parallel rays**). ஒரு தொலைப்பொருளை நோக்கி ஆடியை **V** வடிவமான ஒரு சட்டத்திலே இறுத்தி வைக்கவும். இப்பொருளிலிருந்து வரும் இணை ஒளிக்கதிர்கள் ஆடியின்மேல் விழுந்து பிரதிபலிக்கும். இவ்விதம் பிரதிபலித்த கதிர்கள் கூடி ஆடிக்கு முன்னால் ஒரு இடத்தில் பொருளின் தெளிவான பிம்பத்தைக் கொடுக்கும். வெள்ளைக் காகிதம் ஒட்டின திரையொன்றை ஆடியின் எதிரில் முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி அதில் பொருளின் தெளிவான பிம்பத்தை விழச் செய்யவும். இப்பொழுது ஆடியின் மையத்திற்கும் இத்திரைக்குமுள்ள தூரத்தை அளவிடுக. இத்தூரமே ஆடியின் குவியத்தூரமாகும்.

(2) ஆடியின் வளைவு ஆரத்தைக் (**Radius of curvature**) கண்டு அதன் குவியத்தூரத்தைக் காணும் முறை :—

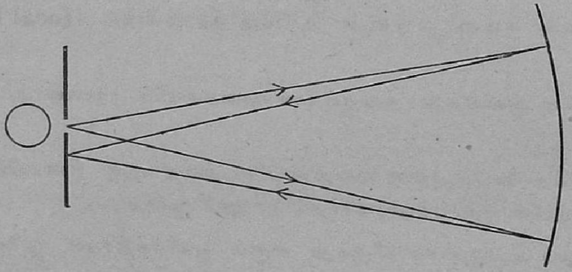
கோளக் குழிவு ஆடியின் குவியத்தூரம் அவ்வாடியின் வளைவு ஆரத்தில் சரிபாதியானது. குவியத்தூரத்தை f என்றும், வளைவு ஆரத்தை **R** என்றும் குறித்தால்,

$$f = \frac{R}{2}.$$

ஆடியின் வளைவு ஆரத்தை வெகு சுலபமாக ஒரு கோள மானியைக் கொண்டு காணலாம். இதைக் காணும் முறையைக் கோளமானி சோதனையில் பார்க்கவும். ஆடியின் வளைவு ஆரத்தை மற்றொரு முறையிலும் காணலாம். இம்முறையாவது :—

ஆடியை **V** வடிவச் சட்டத்தில் இருத்தி அதன் நேர் எதிரில் கம்பிச் சல்லடைத் துவாரத்தைக்கொண்ட திரையொன்றை (**wire gauze screen**) வைக்கவும். இத்திரைக்குப் பின்னால் ஒரு மின்சார விளக்கை வைத்து கம்பிச் சல்லடையை ஒளியிடச் செய்யவும். திரை

யின் துவாரம், இதை ஒளியிடச் செய்யும் விளக்கு, ஆடியின் மையம் இவையெல்லாம் ஒரே படுக்கைத் தளத்தில் இருக்கவேண்டும். ஆடியின் எதிரில் இத்திரையை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி சல்லடைத் துவாரத்தின் தெளிவான பிம்பம் துவாரத்தின் பக்கத்தில் அதே திரையில் விழும்படிச் செய்யவும் (படம் 62). ஆடியின் மையத்திற்கும் திரைக்கும்

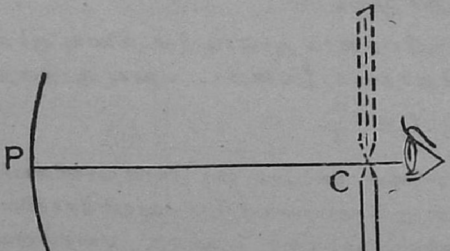


படம் 62

இடைப்பட்ட தூரத்தை அளவிடுக. இதுவே ஆடியின் வளைவு ஆரமாகும். இதில் பாதி ஆடியின் குவியத் தூரமாகும். இதைக் காண்க.

(3) ஆடியின் வளைவு ஆரத்தை இடமாறு தோற்ற வழியில் **(Parallax method)** காணும் முறை :—

ஆடியை **V** வடிவச் சட்டத்தில் வைத்து அதன் எதிரில் ஒரு இரண்டங்குல நீள ஊசியைச் செங்குத்தாகக் குத்தி நிறுத்திவைத்து அதன் பிம்பத்தை ஆடியில் பார்க்கவும் (படம் 63). ஊசியையும் அதன் பிம்பத்தையும் ஒன்றாகத் தோன்றும்படி கண்ணை வைத்துக்கொண்டு கொஞ்சம் இடது புறமாகக் கண்ணை நகர்த்தவும். இப்பொழுது பிம்பம் ஊசிக்கு இடது புறம் நகருவது போல் தோன்றினால் பிம்பம் ஊசியைவிட ஆடியின் அருகிலுள்ளது என ஊகிக்கவேண்டும். கண் இடது பக்கம் நகரும்பொழுது பிம்பம் ஊசிக்கு வலது புறமாக நகருவதாகத் தோன்றினால் பிம்பம் ஊசியை

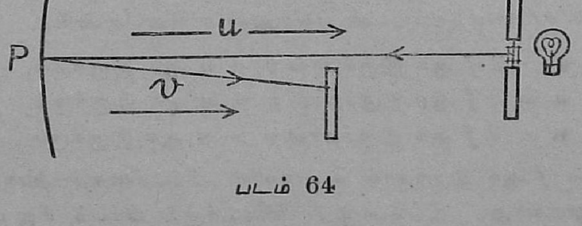


படம் 63

விட ஆடியிலிருந்து அதிக தூரத்தில் இருப்பதாக ஊகிக்கவேண்டும். இப்பொழுது ஊசியை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி சோதனை செய்து கண் நகரும்பொழுது பிம்பமும் ஊசியும் பிரியாமல் இருக்கும்படி சரியான இடத்தில் வைக்கவும். ஆடியின் மையத்திற்கும் ஊசிக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை (PC) அளவிடுக. இதுவே ஆடியின் வளைவு ஆரமாகும். ஆடியின் குவியத்தூரம் $\frac{PC}{2}=\frac{R}{2}=f$. இதைக் காண்க.

(4) ஆடியிலிருந்து பொருளின் தூரம் (u), அதன் பிம்பத்தின் தூரம் (v) இவற்றை கண்டு அளந்து $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ என்ற பொதுவாய்பாட்டை உபயோகித்து ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் காணும் முறை :—

ஒரு V வடிவச் சட்டத்தில் ஆடியை நிறுத்தி அதன் எதிரில் நன்றாக ஒளியிடப்பட்ட ஒரு கம்பிச் சல்லடைத் திரை ஒன்றை நிறுத்தி வைக்கவும். மற்றொரு வெள்ளைக் காகிதத் திரையை இவ்விரண்டின் நடுவே ஒளிக்கதிர்களை தடுக்காதிருக்கும்படி வைத்து முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி கம்பிச் சல்லடையின் தெளிவான பிம்பம் விழுமிடத்தில் நிறுத்திவைக்கவும் (படம் 64). ஆடியிலிருந்து கம்பிச் சல்லடைத் திரையின் தூரம் u-வையும், காகிதத் திரையின் தூரம் v-ஐயும் அளவிடுக. ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் குறிக்கும் பொது வாய்பாடு $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ அல்லது $f=\frac{uv}{u+v}$. இதில் u, v இவற்றின் மதிப்பை உபயோகித்து ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் கணக்கிடுக. ஆடியிலிருந்து சல்லடைத் திரையின்



படம் 64

தூரத்தை 70, 60, 50, 40, 30, 20 செ. மீட்டர்களுக்கு மாற்றி முறையே ஒவ்வொரு தடவையும் பிம்பத்தின் தூரத்தை ஆடியிலிருந்து அளவிட்டு வாசகங்களை நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	ஆடியிலிருந்து		குவியத்தூரம்
	சல்லடைத்திரையின் தூரம் u செ. மீ.	பிம்பத்தின் தூரம் v செ. மீ.	$f = \frac{uv}{u+v}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

குவியத்தூரத்தின் இடை மதிப்பு =

குறிப்பு :—இச்சோதனையில் சில முக்கிய விதிகளைக் கவனிக்க வேண்டும். அவையாவன :—

(a) எப்பொழுதும் தூரங்களை ஆடியின் மையத்திலிருந்துதான் அளவிடவேண்டும்.

(b) ஆடியிலிருந்து பொருள் இருக்கும் திசை அல்லது படுகதிரின் எதிர் திசையில் அளவிடப்படும் தூரம் பாசிட்டிவ் (Positive) +ve தூரமென்றும், ஆடியிலிருந்து, படுகதிர் ஓடும் திசையில் அளவிடப்படும் தூரம் நெகட்டிவ் (Negative) −ve தூரமென்றும் கொள்ளல் வேண்டும். பொது வாய்பாட்டை உபயோகிக்கும்பொழுது u, v இவற்றின் மதிப்பை அவற்றின் சரியான குறியுடன் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

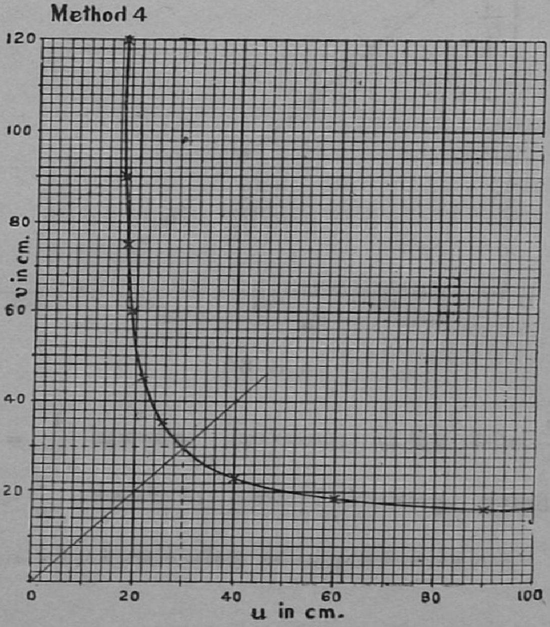
(c) $u > 2f$ ஆக இருந்தால் $v < u$ ஆக இருக்கும்.
$u = 2f$ ஆக இருந்தால் $v = u$ ஆக இருக்கும்.
$u < 2f$ ஆக இருந்தால் $v > u$ ஆக இருக்கும்.

$u < f$ ஆக இருந்தால் பொருளின் பிம்பத்தைத் திரையில் விழச் செய்ய முடியாது. இப்பொழுது கிடைக்கும் பிம்பம் நிஜ பிம்பமில்லை. பொருளின் தோற்ற பிம்பம் (Virtual image) ஆடிக்குள் தெரியும். இவ்விதம் கிடைக்கும் பிம்பங்களின் நிலைகளை இடமாறு தோற்ற வழியினால் (Parallax method) தான் காணவேண்டும்.

(5) $u-v$ வரை படம் (graph) மூலம் ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் காணும் முறை :—

(*a*) முன் சோதனையின் நிரலீட்டிலுள்ள u-வின் மதிப்பைப் படுக்கை அச்சிலும், v-யின் மதிப்பை நிலையச்சிலும் குறித்து ஒரு வரைபடம் தயாரிக்கவும் (படம் 65). இப்படத்தில் $u=v$ என்ற சமன்பாட்டைக் குறிக்கும் நேர்கோட்டை வரையவும். இக்கோடு $u-v$ வரை கோட்டை சந்திக்கும் புள்ளிக்குச் சரியான u, v இவற்றின் மதிப்பைக் காண்க. இப்பொழுது $u=v=R=2f$ ஆகும். இதிலிருந்து ஆடியின் குவியத் தூரத்தைக் காண்க.

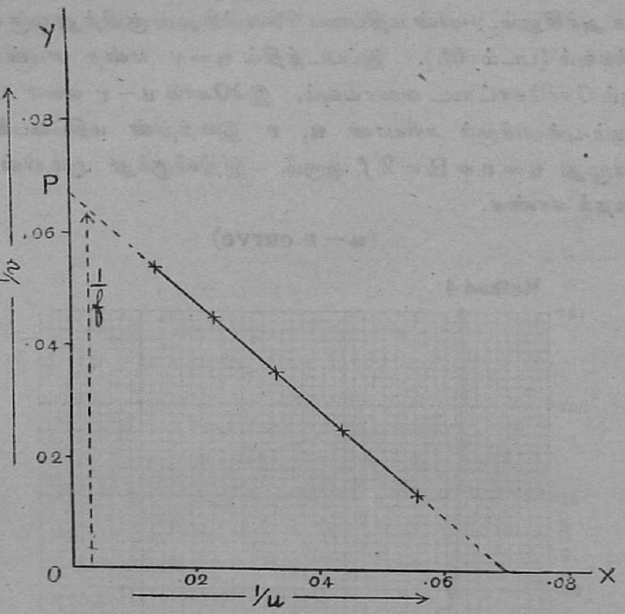
($u-v$ curve)



படம் 65

(*b*) சதுரத்தாளில் $\frac{1}{u}$-வை படுக்கை அச்சிலும் $\frac{1}{v}$-ஐ நிலை யச்சிலும் குறித்து ஒரு வரை படம் தயார் செய்க. இதன் வரைகோடு ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும். இக்கோட்டை நீட்டி நிலையச்சை P என்ற புள்ளியில் சந்திக்கச் செய்யவும் (படம் 66). P என்ற புள்ளிக்குச்

$\left(\frac{1}{u}, \frac{1}{v}\right.$ வரை படம்$\left.\right)$



படம் 66

சரியான $\frac{1}{u}$-வின் மதிப்பு பூஜ்யமாகும். அதாவது $\frac{1}{u} = 0$ அல்லது $u = \infty$ (**infinity**) ஆகையால் **P** என்ற புள்ளிக்குரிய $\frac{1}{v}$-யின் மதிப்பு $\frac{1}{f}$ ஆகும். இதைக் கண்டு ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

கோள வடிவு குவி ஆடி
(Spherical Convex Mirror)

சோதனே 46 :—

கோள வடிவு குவி ஆடியின் குவியத்தூரத்தைக் காண்க :—

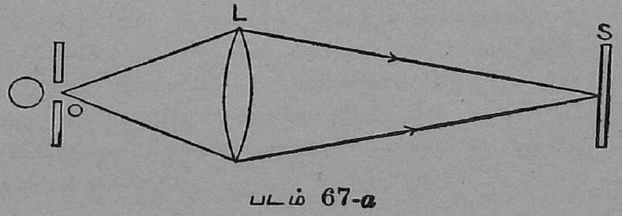
(1) $u - v$ முறை :—

குவி ஆடி கொடுக்கும் பிம்பங்கள் தோற்ற பிம்பங்களேயாகும் **(Virtual images).** ஆகையால் இவற்றின் நிலைகளைக் காண இட மாறு தோற்ற வழியில்தான் முடியும். இம்முறையைக் கையாள குவி ஆடியின் பின் பூசப்பட்டிருக்கும் ரசத்தில் சிறிதளவு ஒரு குறுகிய நீள் சதுர வடிவத்திற்குச் சுரண்டி எடுத்துவிடவும். இப்பாகத்தின் வழியாக ஆடியின் பின் இருக்கும் பொருளைப் பார்க்க முடியும்.

ஆடியை V வடிவச் சட்டத்தில் வைத்து அதன் முன்னுல் ஒரு நீண்ட ஊசியைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். இதன் தோற்ற பிம்பம் ஆடிக்குள் தெரியும். ஆடிக்குப் பின்னுல் மற்ருெரு ஊசியை நிறுத்தி இவ்வூசியையும் ஆடியினுள் தெரியும் பிம்பத்தையும் ஒன்ருகச் சேர்த்துப் பார்க்கவும். இவ்விரண்டிற்கும் இடமாறு தோற்றமில்லாம லிருக்கும்படி பின்னுல் உள்ள ஊசியை நகர்த்திச் சரியான இடத்தில் அமைக்கவும். இதற்கும் ஆடிக்கும் உள்ள தூரமே v ஆகும். ஆடியி லிருந்து அதன் எதிரில் உள்ள ஊசியின் தூரத்தை அளவிடுக. இது u ஆகும். இச்சோதனையில் u, v இவ்விரண்டும் எதிர்த்திசைகளில் அள விடப்படுகின்றன. u எப்பொழுதும் பாசிட்டிவ் ($+ve$). இங்கு v நெகட்டிவ். இவற்றின் மதிப்பைச் சரியான குறியுடன் பொது வாய் பாட்டில் $\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}\right)$ உபயோகித்து குவி ஆடியின் குவிய தூரத் தைக் (f) கணக்கிடுக.

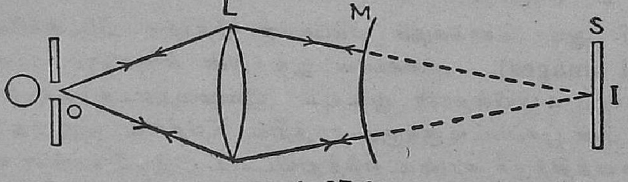
u-வை பல தடவை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் v-யைக் கண்டு வாசகங்களைக் குழிவு ஆடிச் சோதனையில் செய்ததுபோல் நிரலிடுக.

(2) குவி வில்லை (Convex lens)-யை உபயோகித்து குவி ஆடி யின் குவியத்தூரத்தைக் காணும் முறை :—



படம் 67-*a*

ஒரு குவி வில்லையின் முன் ஒளியிடப்பட்ட ஒரு கம்பிச் சல்லடைத் திரையை வைத்து அதன் தெளிவான பிம்பம் மற்றொரு திரை (S)யில் (படம் 67-a) விழும்படிச் செய்யவும். இப்பொழுது குவி ஆடியைக் குவி வில்லைக்கும், திரை (S) க்கும் இடையில் வைத்து முன்னும் பின்னும்



படம் 67-b

நகர்த்தவும். இது ஓரிடத்தில் இருக்கும்பொழுது (படம் 67-b) கம்பிச் சல்லடையின் பிம்பம் அதே திரையில் (O) அதன் பக்கத்திலேயே விழும். இப்பொழுது குவி ஆடியின் மையத்திற்கும் S என்ற திரைக்கும் இடைப் பட்ட தூரத்தை அளவிடுக. இத்தூரம் ஆடியின் வளைவு ஆரம் R ஆகும். இதில் பாதி அளவு ஆடியின் குவியத்தூரமாகும். இதைக் காண்க.

வில்லைகளின் குவியத்தூரம்
(Focal Length of Lenses)

குவி வில்லைகள் (Convex Lenses).

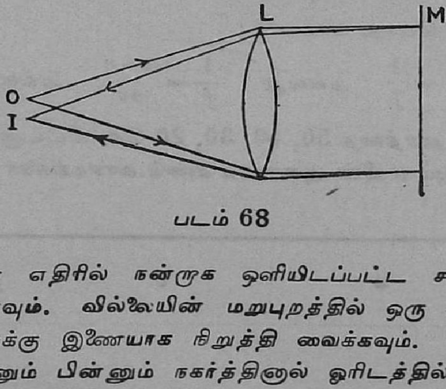
சோதனை 47 :—

ஒரு குவி வில்லையின் (Convex lens) குவியத்தூரத்தைக் காண்க.

(1) தொலைப்பொருள் ஒன்றிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்களைக் குவிய வைத்துக் காணும் முறை :—

ஒரு தொலைப் பொருளிலிருந்து வரும் இணை ஒளிக்கதிர்கள் நேராக குவி வில்லையில் விழும்படி வில்லையை V வடிவ சட்டமொன்றில் நிறுத்தி வைக்கவும். வில்லைக்கு மறுபுறத்தில் ஒரு வெள்ளைக் காகிதம் ஒட்டின திரையை வில்லைக்கு நேராக வைத்து முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி அதில் விழும் பொருளின் பிம்பத்தைக் கவனிக்கவும். பிம்பம் தெளிவாக இருக்கும்படி இத்திரையைச் சரியான இடத்தில் வைக்கவும். வில்லையிலிருந்து இத்திரையின் தூரத்தை அளவிடுக. இத்தூரம் வில்லையின் குவியத் தூரமாகும். இத்தூரம் படுகதிரின் திசையில் அளவிடப்படுவதால் இது நெகட்டிவ் ஆகும். ஆகையால் குவி வில்லையின் குவியத்தூரம் நெகட்டிவ் மதிப்பைக்கொண்டது.

(2) ஒரு சமதளப் பரப்பு ஆடியை (Plane mirror) உபயோகித்து வில்லையின் குவியத்தூரத்தை காணும் முறை :—

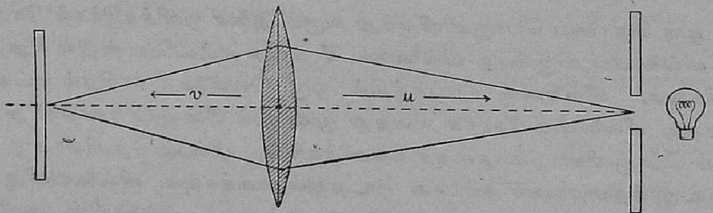


படம் 68

வில்லையின் எதிரில் நன்றாக ஒளியிடப்பட்ட சல்லடைத் திரை ஒன்றை வைக்கவும். வில்லையின் மறுபுறத்தில் ஒரு சமதளப் பரப்பு ஆடியை வில்லைக்கு இணையாக நிறுத்தி வைக்கவும். வில்லையை இப்பொழுது முன்னும் பின்னும் நகர்த்தினால் ஓரிடத்தில் சல்லடையின் பிம்பம் அதன் திரையிலேயே தெளிவாக விழும். இவ்விதம் பிம்பம் விழும்படி வில்லையைச் சரியான இடத்தில் வைக்கவும். (படம் 68) வில்லையிலிருந்து திரையின் தூரத்தை அளவிடுக. இத்தூரமே வில்லையின் குவியத்தூரமாகும்.

வில்லையிலிருந்து பொருள், அதன் பிம்பம் இவற்றின் தூரங்களை அளந்து வில்லையின் குவியத்தூரத்தை கணக்கிடும் முறை :—

வில்லையின் எதிரில் 60 செ. மீட்டர் தூரத்தில் ஒரு கம்பிச் சல்லடைத் திரையை நிறுத்தி சல்லடையை ஒரு மின்சார விளக்கினால் ஒளியிடச் செய்யவும். வில்லையின் பிரதான அச்சு இச்சல்லடையின் வழியே செல்லுமாறு இருக்கவேண்டும். இதன் மறுபுறத்தில் வெள்ளைக் காகிதத் திரை ஒன்றை வைத்து அதை முன்னும் பின்னும் நகர்த்தி சல்லடையின் பிம்பம் அதில் தெளிவாகத் தோன்றுமிடத்தில் நிறுத்தவும் (படம் 69)



படம் 69

வில்லையிலிருந்து, சல்லடையின் தூரம் *u* வையும், திரையின் தூரம் *v* யையும் அளவிடுக. இங்கு *u* பாசிட்டிவ் ஆகும், *v* நெகட்டிவ் ஆகும். இவற்றின் மதிப்புக்களை அதற்கேற்ற குறியுடன் வில்லையின் பொது வாய்பாட்டில் உபயோகித்து அதன் குவியத்தூரத்தை கணக்கிடுக.

வில்லையின் பொது வாய்பாடு :

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{அல்லது} \quad \frac{1}{f} = \frac{u-v}{uv} \quad \text{அல்லது} \quad f = \frac{uv}{u-v}$$

u என்ற தூரத்தை 50, 40, 30, 20 செ. மீட்டருக்கு மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் *v*-யின் அளவைக் கண்டு வாசகங்களை நிரலீடு செய்க.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	u	v	$f = \frac{uv}{u-v}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

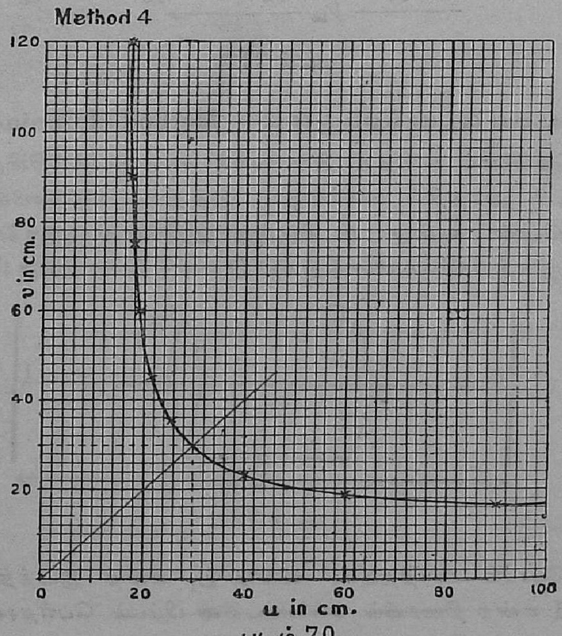
இச்சோதனையில் கிடைத்த பிம்பங்கள் நிஜ பிம்பங்களாகும். u-வின் தூரம் வில்லையின் குவியத்தூரத்தைவிட சிறியதாக இருந்தால் கிடைக்கும் பிம்பம், தோற்ற பிம்பமாகும். இதை வில்லைக்குள் பார்க்கலாம். இது வில்லையின் அச்சில் பொருள் இருக்கும் பக்கத்திலேயே இருக்கும். இத் தோற்ற பிம்பத்தின் நிலையை இடமாறு தோற்ற வழியினால் காண வேண்டும்.

(4) வரைபட முறை :—

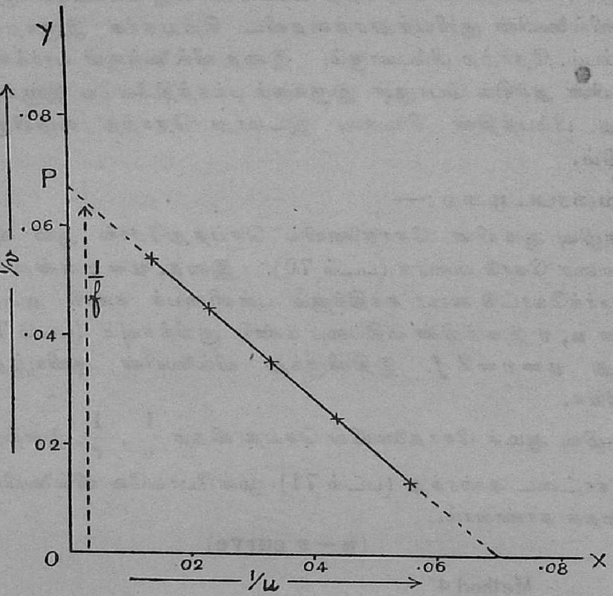
குழிவு ஆடியின் சோதனையில் செய்ததுபோல் குவி வில்லைக்கும் $u-v$ வரை கோடு வரைக (படம் 70). இதை, $u=v$ என்ற சாம்மியத்தின் நேர்க்கோட்டு வரை சந்திக்கும் புள்ளியைக் கண்டு அப்புள்ளிக்குச் சரியான u, v இவற்றின் மதிப்பை கண்டு குறிக்கவும் (படம் 70). இப்பொழுது $u=v=2f$. இதிலிருந்து வில்லையின் குவியத்தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

குழிவு ஆடிச் சோதனையில் செய்த விதம் $\frac{1}{u}$, $\frac{1}{v}$. இவற்றின் வரை நேர்க்கோட்டை வரைந்து (படம் 71) முன்போலவே வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காணலாம்.

($u-v$ curve)



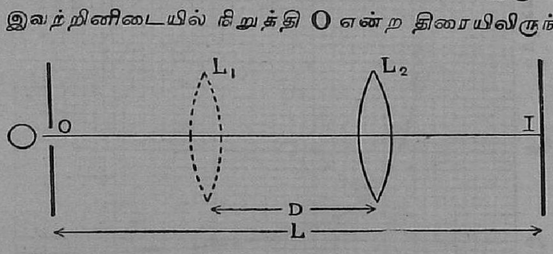
படம் 70



படம் 71

(5) வில்லையை இடமாற்றும் முறை:—(**Method of Conjucate foci**)

ஒரு வெள்ளைக் காகிதத் திரையைச் சல்லடைத் திரையிலிருந்து 80 செ. மீடர் தூரத்தில் வைக்கவும். இத்தூரம் வில்லையின் குவியத் தூரத்தைப்போல் நான்கு மடங்குக்கு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். வில்லையை இவற்றினிடையில் நிறுத்தி O என்ற திரையிலிருந்து I என்ற



படம் 72

திரையை நோக்கி நகர்த்தவும். வில்லை L_1 என்ற இடத்திற்கு வரும் பொழுது I என்ற திரையில் சல்லடையின் பிம்பம் பெரிதாகவும் தெளி

வாகவும் தெரியும். இங்கு வில்லையின் நிலையை (படம் 72) குறித்துக் கொள்க. மறுபடி வில்லையை I-யை நோக்கி நகர்த்தவும். வில்லை L_2 என்னுமிடத்தில் வரும்பொழுது I என்ற திரையில் சல்லடையின் பிம்பம் மிகச் சிறியதாகவும் தெளிவாகவும் விழும். வில்லையின் இந்த நிலையையும் குறித்துக்கொள்க. இரு திரைகளுக்கு மிடைப்பட்ட தூரத்தையும் (L), வில்லையின் இரு நிலைகளுக்கு மிடைப்பட்ட தூரத்தை யும் (D) அளவிடுக. இவற்றின் மதிப்பை கீழ்க்கொடுத்த வாய்பாட்டில் உபயோகித்து வில்லையின் குவியத்தூரத்தைக் காண்க.

வாய்பாடு :—

$$f = -\frac{L^2 - D^2}{4\,L}.$$

இவ்வைந்து முறைகளிலும் கிடைத்த வில்லையின் குவியத்தூரத் தைத் தொகுத்து எழுதி அவற்றின் இடை மதிப்பைக் காண்க.

குழி வில்லைகள் (Concave Lenses)

சோதனை 48 :—

ஒரு குழி வில்லையின் குவியத் தூரத்தைக் காண்க :—

(1) $u - v$ முறை :—

குழி வில்லை எப்பொழுதும் தோற்ற பிம்பங்களைத்தான் கொடுக்கும். ஆகையால் பிம்பத்தின் நிலையை இடமாறு தோற்ற வழியினுல்தான் காண முடியும். இவ்வழியினுல் v-யைக் கண்டுகொள்ளலாம். u-வை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் v-யைக் கண்டு அளந்து வாசகங்களை நிரலீடு செய்க. இவற்றின் மதிப்பை சரியான குறியுடன் வில்லைகளின் பொது வாய்பாட்டில் $\left(\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}\right)$ உபயோகித்து வில்லையின் குவி யத்தூரத்தைக் கணக்கிடுக.

$$f = \frac{uv}{u-v}.$$

(2) ஒரு குவி வில்லையுடன் சேர்த்துக் காணும் முறை :—

இக்குழி வில்லையின் குவியத் தூரத்தைவிடக் குறைவானக் குவியத் தூரத்தைக்கொண்ட ஒரு குவி வில்லையை எடுத்துக்கொண்டு அதன் குவியத்தூரத்தை ஒரு சமதள ஆடியை உபயோகித்துக் காணவும்.

இதை f_1 என்று குறிப்பிடவும். குழி வில்லை குவி வில்லை இரண்டையும் சேர்த்து கொஞ்சம் மெழுகினல் ஒட்டி நிற்கச் செய்யவும். இச்சேர்க்கை ஒரு குவி வில்லையின் தன்மையையுடையது. இச்சேர்க்கையின் குவியத் தூரம் F-ஐ முன்போல் ஒரு சமதள ஆடியை உபயோகித்துக் கண்டு கொள்ளவும். குழி வில்லையின் குவியத்தூரத்தை f_2 என்று குறிப் பிட்டால் இம் மூன்றையும் தொகுத்துக் கொடுக்கும் வாய்பாடு $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ ஆகும் இவ்வாய்பாட்டில் F, f_1 இவை நெகட்டிவ் மதிப்பையுடையன. இவற்றைச் சரியான குறியுடன் உபயோகித்து f_2-வின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

ஒளியியல் கருவிகள் (Optical Instruments)

நமது கண் இக்கருவிகளில் ஒன்ருகும். சரியான பார்வையுடைய கண்களால் வெகு தொலையிலுள்ள பொருள்களைச் சரியாகக் கண்டு அவற்றின் அமைப்பை அறியமுடியாது. கண்களுக்கு வெகு சமீபமாக இருக்கும் பொருள்களும் தெளிவாகப் புலப்படாது. பொருள்கள் தெளி வாகத் தெரிய அவை கண்களிலிருந்து 25 செ. மீ. தூரத்திற்குக் குறையா மல் இருக்கவேண்டும். இத்தூரம் கண் பார்வையின் நீச தூரம் எனப் படும் (**least distance of distinct vision**). பொருள்கள் மிகச் சிறிய தாக இருந்தால் அவற்றின் உருவை ஒரு பெருக்காடியைக்கொண்டு பெருக்க வைத்துக் காணவேண்டும். வெகு தொலையிலுள்ள பொருள் களைக் காண ஒரு தொலை நோக்கியை (**telescope**) உபயோகித்து அவற் றின் பிம்பங்களை கண்ணுக்குச் சமீபமாக விழச்செய்து காணவேண்டும். பொருள்களை எக்கருவியைக்கொண்டு பார்த்தாலும் பொருள்களின் பிம் பங்கள் கண்ணின் நீச தூரத்திற்கப்பால் விழும்படி செய்யவேண்டும்.

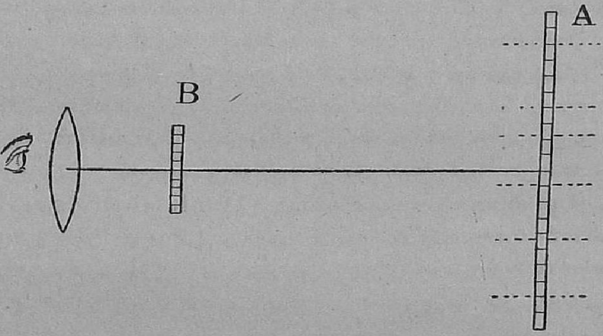
சாமானியப் பெருக்காடி (Simple Microscope)

சோதனை 49 :—

சாமானியப் பெருக்காடி ஒன்றின் பெருக்குத் திறனைக் (**Magnifying Power**) காண்க :—

பெருக்குத்திறன் என்பது, பிம்பத்தின் உருவ அளவுக்கும் பொரு ளின் உருவ அளவுக்கும் உள்ள தகவேயாகும்.

சாமானியப் பெருக்காடி, குறைந்த குவியத்தூரத்தையுடைய (**short focal length**) ஒரு குவி வில்லையே ஆகும். இதன் பெருக்குத் திறனைக் காண இதை ஒரு V வடிவச் சட்டத்திலிட்டு அதன் எதிரில் **A, B** என்ற இரண்டு காகித அளவிச் சட்டங்களைச் செங்குத்தாக நிறுத்தி வைக்கவும். **A** என்ற அளவியை வில்லையிலிருந்து 25 செ. மீ. தூரத்தில் வைத்து **B** என்ற அளவியை வில்லையின் சமீபமாக நிறுத்தவும் (படம் 73). வில்லைக்கும் அளவி **B**-க்கும் இடைப்பட்ட தூரம் வில்லையின் குவியத்தூரத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். கண்ணை வில்லையை யொட்டி வைத்து **B**-யின் பெருக்கிய தோற்ற பிம்பத்தைப்



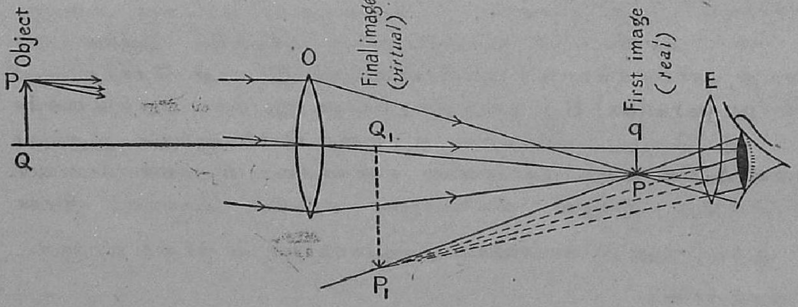
படம் 73

பார்க்கவும். ஒரு கண்ணால் இப்பிம்பத்தையும் மற்றொரு கண்ணால் **A** என்ற அளவியையும் ஒன்றுக்கொன்று பக்கத்தில் இருக்கும்படிச் செய்து பார்த்துக்கொண்டு இவ்விரண்டிற்கும் இடமாறு தோற்றமில்லாமல் (**no parallax**) **B**-ஐ நகர்த்திச் சரியான இடத்தில் நிறுத்தி வைக்கவும். இப்பொழுது பிம்பத்தின் n_1 வரை கோடுகளுக்குள் இருக்கும் அளவி **A**-யின் வரை கோடுகளின் எண்ணிக்கை n_2-வைக் காணவும். இப்பொழுது இக்குவி வில்லையினால் ஏற்படும் பெருக்குத் திறன் $\frac{n_2}{n_1}$ ஆகும். இதுவே சாமானியப் பெருக்காடியின் பெருக்குத் திறனாகும். இதைக் காண்க.

வில்லையிலிருந்து **A**-யின் தூரத்தை (D) அளவிடுக. பிறகு வில்லையின் குவியத்தூரத்தை (f) ஏதாவது ஒரு முறையில் காண்க. இதன் பெருக்குத் திறன் $\frac{f-D}{f}$-க்குச் சமமாக இருப்பதைக் கணக்கிட்டுப் பார்க்கவும். இங்கு f என்பது நெகட்டிவ் குறியுள்ளது என ஞாபகமிருக்கவேண்டும்.

வான வியல் தொலை நோக்கி
(Astronomical Telescope)

வான வியல் தொலை நோக்கியில் இரண்டு குவி வில்லைகள் உள. இவை இரண்டின் பிரதம அச்சுக்களும் ஒரே கோட்டிலிருக்கும்படி இரண்டு செருகு குழாய்களில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இவற்றில் ஒன்றின் பரப்பு அதிகமாயும், குவியத்தூரம் (F) அதிக அளவுடையதாயும் இருக்கும். இதற்குப் பொருள் வில்லை அல்லது பொருளை நோக்கும் வில்லை (**Object glass**) என்று பெயர். மற்றொரு வில்லை சிறியதாயும் குறைவான குவியத்தூரத்தை (f) யுடையதாயும் இருக்கும். இதற்குக் கண் வில்லை எனப் பெயர். இதை யொட்டிக் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு பொருளின் பிம்பத்தைப் பார்க்கவேண்டும். இவ்விரண்டு குவி வில்லை களுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை நீட்டவும் குறுக்கவும் முடியும். தொலையி லுள்ள பொருளை, பொருள் வில்லை நோக்குமாறு தொலை நோக்கியின் அச்சை வைத்து கண் வில்லையின் வழியாகப் பொருளின் பிம்பத்தைப் பார்க்கவேண்டும். பொருள் தொலையிலிருப்பதால், பொருள் வில்லை சிறிய, தலை கீழான ஒரு நிஜ பிம்பத்தை (**Diminished inverted real image**) வில்லையின் குவிய மையத்தில் (**focus**) கொடுக்கும். இப் பிம்பம் கண் வில்லைக்குப் பொருளாகிறது. இந்நிஜ பிம்பத்திற்கும் கண் வில்லைக்குமுள்ள தூரம் அதன் குவியத்தூரத்திற்கு (f) ச் சற்று குறை வாக இருக்கவேண்டும். இப்பொழுது கண் வில்லையில் இதன் பெருக்கிய (**Enlarged virtual image**) தோற்ற பிம்பத்தைக் காணலாம். இவ்



படம் 74

விதம் கிடைக்கும் பொருளின் பெருக்கிய பிம்பம் தலைகீழாக இருக்கும் (படம் 74). இத்தொலை நோக்கியின் பெருக்குத்திறன் (**Magnifying power**) $\frac{F}{f}$ ஆகும். இவ்விரு வில்லைகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் $F + f$ ஆகும்.

சோதனை 50 :—

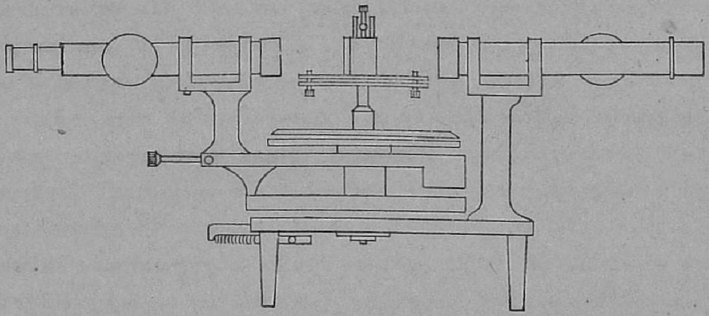
கொடுத்த இரண்டு குவி வில்லைகளைக்கொண்டு ஒரு தொலை நோக்கி அமைத்து அதன் பெருக்குத்திறனைக் காண்க :—

நீண்ட வெள்ளை காகிதமொன்றில் அங்குலங்களைக் குறிக்க படுக்கை வாக்கிலே தடித்த கருப்பு மைக்கோடுகள் வரைந்து அக்காகிதத்தை சோதனை அறையின் ஒரு கோடியிலுள்ள சுவற்றில் மேஜை மட்டத்தில் செங்குத்தாகப் பொருத்தி வைக்கவும். இதிலிருந்து 10 அடி தூரத்தில் மேஜையின்மேல் அதிகக் குவியத்தூரத்தைக்கொண்ட குவி வில்லையை இக்காகிதத்தை நோக்கி வைக்கவும். இவ்வில்லையின் மறுபுறத்தில் ஒரு தேய்ந்த கண்ணாடித்திரை (**Ground glass screen**)-யை வைத்து நகர்த்தி காகிதத்திலுள்ள கோடுகளின் பிம்பம் விழும்படி செய்யவும். இத்திரையின் பின்னால் சிறிய குவி வில்லையை நிறுத்திவைக்கவும். இரண்டு வில்லைகளின் பிரதம அச்சுக்கள் ஒரே கோட்டிலிருக்கவேண்டும். இச்சிறிய வில்லைக்குப்பின் அதையொட்டிக் கண்ணை வைத்துக்கொண்டு தேய்ந்த கண்ணாடித்திரையை நோக்கவும். திரையிலுள்ள பிம்பத்தின் பெருக்கிய தோற்ற பிம்பம் மங்கலாகத் தெரியும். கண் வில்லையை நகர்த்தி இப்பிம்பம் தெளிவாகத் தோன்றும்படிச் செய்துகொள்ளவும். இப்பொழுது கண்ணாடித்திரையை எடுத்துவிடவும். இப்பெருக்கிய பிம்பத்தின் கோடுகளை கண் வில்லையின் வழியாக ஒரு கண்ணாலும், காகிதத்திலுள்ள கோடுகளை நேரே மற்றொரு கண்ணாலும் பார்த்துக்கொண்டு பிம்பத்தில் n_1 கோடுகளுக்குள் அடங்கி இருக்கும் காகிதத்திலுள்ள கோடுகளின் எண்ணிக்கை n_2-வைக் கண்டு குறிக்கவும். தொலை நோக்கியின் பெருக்குத்திறன் $\frac{n_2}{n_1}$ ஆகும். இதைக் கணக்கிடுக.

இரு வில்லைகளின் குவியத்தூரங்களைத் தனித்தனியே காண்க. பெருக்குத்திறன் $\frac{n_2}{n_1} = \frac{F}{f}$ ஆக இருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

ஒளி நிற மானி (Spectrometer)

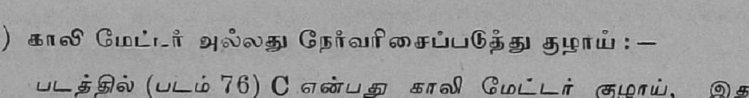
ஒளியியல் கருவிகளில் ஒளி நிற மானி மிகவும் முக்கியமானது. இதன் உருவ அமைப்பைப் படத்தில் காணவும் (படம் 75). இதன் முக்கிய உறுப்புக்கள் மூன்றாகும். அவையாவன :—



படம் 75

(1) காலி மேட்டர் அல்லது நேர்வரிசைப்படுத்து குழாய் :—

படத்தில் (படம் 76) C என்பது காலி மேட்டர் குழாய், இதன் ஒரு முனையில் ஒரு வெட்டுத் துவாரம் S செங்குத்தாக இருக்கிறது. இதன் மறு முனையில் ஒரு குவி வில்லை L_1 பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 76

இவ்வெட்டுத் துவாரத்தின் அகலத்தை ஒரு திருகினால் மாற்றி அமைக்க முடியும். இவ்வெட்டுத் துவாரத்திற்கும் குவி வில்லைக்குமுள்ள (L_1) தூரத்தையும் மாற்றி அமைக்கலாம்.

(2) தொலை நோக்கி :—

படத்தில் T என்பது தொலை நோக்கி. இதிலும் ஒரு பித்தளைக் குழாய் உள்ளது. இதன் ஒரு முனையில் ஒரு குவி வில்லை (L_2) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வில்லை தொலை நோக்கியின் பொருள் வில்லை

யாகும். மற்ருெரு முனையில் இதற்குள் செருகப்பட்ட ஒரு குழாயில் இரண்டு குறுக்குக் கம்பிகளை F (cross wires) க் கொண்ட வட்டமான சட்டமொன்று பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இக்குழாயினுள் கண் வில்லைக் குழாய் (E eyepiece) செருகப்பட்டிருக்கிறது. சாதாரணமாக இக்கண் வில்லை இரண்டு குவி வில்லைகளின் சேர்க்கையாக இருக்கும்.

காலி மேட்டர், தொலை நோக்கி இவற்றின் அச்சுகள் ஒரே படுக்கைத் தளத்தில் இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. காலி மேட்டர் ஒளிநிறமானியின் மூன்று கால்களில் ஒன்றுடன் நகராமல் இணைத்துச் சேர்த்து வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒளிநிறமானியின் செங்குத்து அச்சைச் சுற்றிச் சுற்றக்கூடிய ஒரு வட்டமான பித்தளை தகட்டுடன் இதன் தொலை நோக்கி இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்தகட்டின் ஓரத்தில் டிகிரி அளவை ஒன்று வரையிடப்பட்டிருக்கிறது. இத்தொலை நோக்கியையும் இத்துடன் சுற்றும் அளவித்தட்டையும் திருப்பி எங்கு வேண்டுமானுலும் ஒரு திருகினுல் நகராமல் நிறுத்தி வைக்கலாம். மற்ருெரு திருகின் உதவியால் மிகச் சிறிய அளவுக்கு இதை திருப்பமுடியும்.

(3) முப்பட்டை பீடம் (Prison table) :—

படத்தில் P என்பது முப்பட்டை பீடம். ஒளிநிறமானியின் அச்சில் இதை மேலும் கீழும் நகர்த்தி ஒரு திருகினுல் எந்த உயரத்திலும் பொருத்தி வைக்கலாம். இப்பீடம் மூன்று திருகுகளைக்கொண்டது. இவற்றினுதவியால் இப்பீடத்தை படுக்கை தளத்தில் இருக்கச் செய்யலாம். இப்பீடத்துடன் சாய்வு ஓரங்களைக்கொண்ட மற்ருெரு வட்டமான தகடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது இத்தகடு இரண்டு வர்னியர்களைத் தாங்கி நிற்கிறது. இவ்வர்னியர்களைக்கொண்டு அளவியின் வாசகங்களைக் காண முடிகிறது. இவ்வர்னியர் தகட்டையும் ஒரு திருகினுல் நகராமல் குறித்த இடத்தில் நிறுத்தலாம். அளவியில் ஒவ்வொரு சிறிய பிரிவும் $\frac{1}{2}$ டிகிரியாகும். வர்னியரில் 29 அளவிப் பிரிவுகள் 30 பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஆகையால் இதன் கீழ் அளவுத்திறன் $\frac{1}{30} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{60}$ டிகிரி அல்லது 1 மினிட் ஆகும்.

ஒளி நிற மானியைச் சோதனைக்குச் சரிப்படுத்தல்.

(1) தொலை நோக்கியைச் சரிப்படுத்தும் முறை :—

தொலை நோக்கியை ஒரு வெள்ளைச் சுவரை நோக்கி நிறுத்தி கண் வில்லை வழியாக குறுக்குக் கம்பிகளின் பிம்பங்களைப் பார்க்கவும். இப்

பிம்பம் மங்கலாக இருந்தால் கண் வில்லையை குழாயில் உள்ளும் வெளியும் தள்ளி கம்பிகளின் பிம்பம் தெளிவாகத் தெரியும்படிச் செய்யவும். இப்பொழுது தொலை நோக்கி வழியாகத் தொலையிலுள்ள ஒரு மரம் அல்லது கட்டடத்தைப் பார்த்துக்கொண்டு தொலை நோக்கியின் பொருள் வில்லைக்கும் கண் வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தைத் தொலைப்பொருளின் பிம்பம் தெளிவாகவும், குறுக்குக் கம்பிகளின் பிம்பத்துடன் இடமாறு தோற்றமளிக்காமலும் இருக்கும்படி மாற்றி அமைக்கவும். தொலைப் பொருளிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் இணைக்கதிர்களானதால், இப்பொழுது தொலை நோக்கி இணைக்கதிர்களைத் தன்னுள் வாங்கி தெளிவான பிம்பத்தைக் கொடுக்க சரியாக அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

(2) காலி மேட்டரைச் சரிப்படுத்தல் :—

காலி மேட்டரின் துவாரத்தைச் சோடியம் விளக்கினுல் ஒளியிடச் செய்யவும். தொலை நோக்கியை இதற்கு நேராகக் கொணர்ந்து அதன் வழியாக காலிமேட்டர் துவாரத்தின் பிம்பத்தைப் பார்த்துக்கொண்டு காலிமேட்டரில் துவாரத்திற்கும் குவி வில்லைக்கும் இடைப்பட்ட தூரத்தை மாற்றி அமைத்து இப்பிம்பம் தெளிவாகவும், குறுக்குக் கம்பிகளின் பிம்பத்துடன் இடமாறு தோற்றமளிக்காமலும் இருக்கச்செய்யவும். இப்பொழுது காலிமேட்டரிலிருந்து வரும் ஒளிக்கதிர்கள் இணைக்கதிர்களாகும்.

(3) முப்பட்டை பீடத்தைச் சரிப்படுத்தல் :—

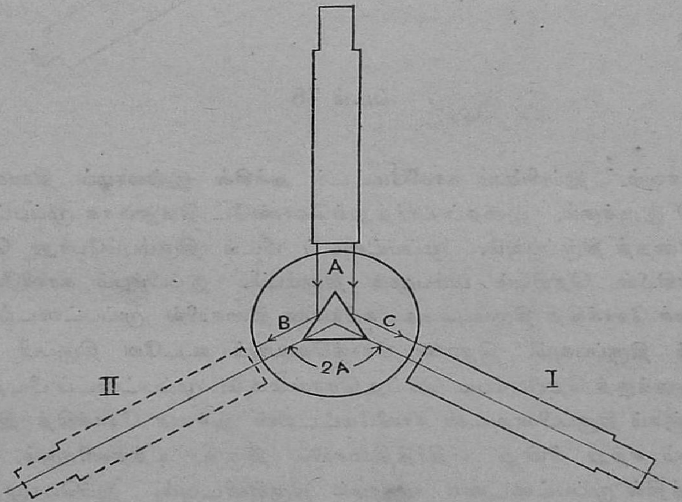
முப்பட்டை பீடம் படுக்கை தளத்தில் இருக்கவேண்டும். பீடத்தின் மேல் ஒரு ரசமட்டத்தை வைத்து பீடத்தின் மூன்று திருகுகளையும் சரியானபடி திருகி பீடத்தை படுக்கைத் தளத்திற்கு கொண்டுவரவும்.

சோதனை 51 :—

ஒளிநிறமானியைக்கொண்டு ஒரு முப்பட்டையின் கோணத்தைக் காண்க.

முதலில் ஒளிநிறமானியின் காலிமேட்டர், தொலை நோக்கி, முப்பட்டை பீடம் இவற்றை சரிப்படுத்திக்கொள்ளவும். காலிமேட்டர் துவாரத்தை சோடியம் விளக்கினுல் ஒளியிடச் செய்யவும். முப்பட்டையை அதன் பீடத்திலிருத்தி காலிமேட்டரிலிருந்து வரும் இணைகதிர்கள் முப்பட்டை கோணத்தின் இரு பக்கங்களிலும் விழுமாறு பீடத்தைத் திருப்பி வைத்து நகராமல் திருகைத் திருகிவிடவும். இக்கதிர்கள்

முப்பட்டையின் இரு பக்கங்களால் பிரதிபலிக்கப்படும். இதனுல் காலி மேட்டர் துவாரத்தின் பிம்பத்தை முப்பட்டையின் இரு பக்கங்களிலும் காணலாம். தொலை நோக்கியை I என்ற இடத்திற்குத் திருப்பி (படம் 77) AC-ல் கிடைக்கும் பிம்பமும், கண் வில்லையினுள் தெரியும் செங்குத்துக் கம்பியின் பிம்பமும் ஒன்றி இருக்குமாறு வைத்து நிறுத்தவும். இப்பொழுது ஏதாவது ஒரு வர்னியரைக்கொண்டு அளவியின் வாசகத்தை வாசித்துக் குறித்துக்கொள்ளவும். இதே விதம் தொலை நோக்கியை II என்ற இடத்திற்குத் திருப்பி AB-ல் கிடைக்கும் பிம்பத்தைச் செங்குத்துக் கம்பியின் பிம்பத்துடன் ஒன்றி இருக்கச் செய்து மறுபடியும் அதே வர்னியரால் அளவியின் வாசகத்தைக் காணவும். இவ்விரு வாசகங்



படம் 77

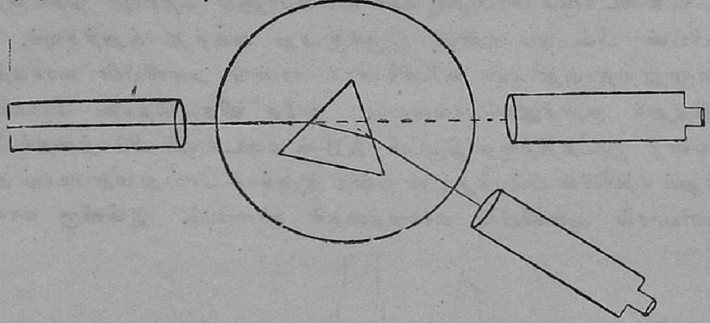
களுக்கு மிடைப்பட்ட கோணம் முப்பட்டையின் கோணத்தைப்போல் இரு மடங்காகும். இதைக் கணக்கிடவும்.

சோதனை 52 :—

ஒளிநிறமானியை உபயோகித்து ஒரு முப்பட்டையின் நீச திசை மாற்றக் கோணத்தைக் காண்க.

காலிமேட்டரிலிருந்து வரும் இணை ஒளிக்கதிர்களை முப்பட்டையின் ஒரு பக்கத்தில் விழும்படி முப்பட்டைப் பீடத்தைத் திருப்பி வைக்கவும்.

தொலை நோக்கியைத் திருப்பி (படம் 78) முப்பட்டையினுள் ஒளி முறிவு ஏற்பட்டு வெளி வரும் ஒளிக்கதிர்களால் ஏற்படும் விலகிய பிம்பத்தைப்



படம் 78

பார்க்கவும். இப்பிம்பம் காலிமேட்டர் அச்சில் இல்லாமல் திசை மாறி விலகி இருக்கும். இதைப் பார்த்துக்கொண்டே மெதுவாக முப்பட்டைப் பீடத்தைத் திருப்பவும். முப்பட்டைப் பீடம் திரும்பும்போது தொலை நோக்கியில் தெரியும் பிம்பமும் திரும்பும். இப்பிம்பம் காலிமேட்டர் அச்சை நோக்கித் திரும்பும்படி சரியான திசையில் முப்பட்டைப் பீடத் தைத் திருப்பவும். தொலை நோக்கியையும் கூடவே திருப்பி பிம்பம் கண்ணுக்குத் தெரியும்படி செய்துகொள்ளவும். முப்பட்டைப் பீடத்தைக் கொஞ்சம் திருப்பினவுடன் காலிமேட்டரின் அச்சை நோக்கித் திரும்பும் பிம்பம் சற்று நின்று எதிர்த்திசையில் திரும்ப யத்தனிக்கும். இந்த இடத்தில் முப்பட்டையை நகராமல் திருகிவிடவும். இப்பொழுது முப் பட்டையை நகராமல் திருகிவிடவும். இப்பொழுது முப்பட்டை மீச திசை மாற்றத்தைக் கொடுக்கும் நிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. தொலை நோக்கியைச் சற்று திருப்பி செங்குத்துக் கம்பியின் பிம்பமும் காலிமேட்டர் துவாரத்தின் பிம்பமும் ஒன்றி இருக்கச்செய்து ஏதாவது ஒரு வர்னியரால் அளவியின் வாசகத்தைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். பீடத்தைத் திருப்பாமல் மெதுவாக முப்பட்டையை அதிலிருந்து எடுத்து விடவும். இப்பொழுது காலிமேட்டர் துவாரத்தின் பிம்பம் அதன் அச்சுத் திசையிலேயே தெரியும். தொலைநோக்கியைத் திருப்பி பிம்பமும் செங்குத்துக் கம்பியின் பிம்பமும் ஒன்றாக இருக்கும்பொழுது அதே வர்னியரால் அளவியின் வாசகத்தை கண்டுகொள்ளவும். இவ்விரு வாச

கங்களின் வேற்றுமை முப்பட்டையின் நீச திசை மாற்றக் கோணமாகும் இதைக் காண்க.

முப்பட்டையின் கோணத்தை **A** என்றும், முப்பட்டையின் நீச திசை மாற்றக் கோணத்தை **D** என்றும் குறித்தால் முப்பட்டையின் விலகல் எண் (refractive index)

$$\mu = \frac{\text{Sin}\left(\frac{A+D}{2}\right)}{\text{Sin}\left(\frac{A}{2}\right)}$$

இதைக் கணக்கிடுக.

ஒலியியல் (Sound)

தந்திக் கம்பிகளின் குறுக்குத் துடிப்பு விதிகள் (Laws of Transverse vibrations of Strings)

பிருவுடன் இழுத்துக் கட்டப்பட்ட கம்பி ஒன்று துடிக்கும்பொழுது இதன் (1) நீளம் 'l', (2) பிரு அல்லது இழு விசை T (Tension), (3) பிரதான துடிப்பு எண் N (fundamental frequency), (4) கம்பியின் அலகு நீளத்தின் எடை 'm' (mass per unit length), இவற்றிற்குள்ள உறவுகளே இக்கம்பியின் குறுக்குத் துடிப்பு விதிகளாகும். இந்த உறவை, $T = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ என்னும் வாய்பாட்டினுல் குறிக்கலாம். இவ்வாய்பாடு மூன்று விதிகளைக் கொண்டுள்ளது. இவ்விதிகளாவன :—

(1) முதல் விதி :—

தந்தியின் பிருவும் (T) அதன் அலகு நீள எடையும் (m) மாறதிருந்தால், தந்தியின் பிரதானத் துடிப்பு எண் அதன் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதமாக இருக்கும்.

முன் கொடுத்த வாய்பாட்டில் T, m இவை மாறிலிகள். இவ்விதி $n \propto \frac{1}{l}$ எனக் கூறுகிறது. அதாவது $n \times l$ ஒரு மாறிலியாயிருக்க வேண்டும். இவ்விதியை நிரூபிக்க $n \times l$ ஒரு மாறிலி எனச் சோதனையால் காட்டவேண்டும்.

(2) இரண்டாவது விதி :—

தந்தியின் நீளமும் (l) அதன் அலகு நீள எடை (m)-யும் மாறதிருந்தால், தந்தியின் பிரதானத் துடிப்பு எண் அதன் பிருவின் வர்க்க மூலத்திற்கு (Square root) ஏற்ப உள்ளதாக இருக்கும்.

இதில் l, m மாறிலிகள். இவ்விதி $n \propto \sqrt{T}$ எனக் கூறுகிறது. அதாவது $\frac{n}{\sqrt{T}}$ ஒரு மாறிலியாகும்.

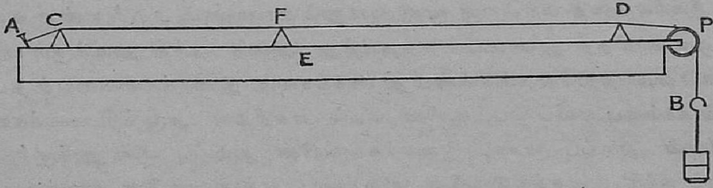
(3) மூன்றாவது விதி :—

ஒரே நீளத்தையும், பிருவையும் கொண்ட பல தந்திகளின் துடிப்பு எண்கள் அவற்றின் அலகு நீள எடைகளின் வர்க்க மூலத்திற்கு எதிர் விகிதமாக இருக்கும்.

இதில் l, T மாறிலிகள். இவ்விதி $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ எனக் கூறுகிறது. அதாவது $n\sqrt{m}$ ஒரு மாறிலியாகும்.

இசைமானி (Sonometer)

இதில் ஒரு காலியான நீள் சதுர மரப்பெட்டி ஒன்று உள்ளது. இது ஒலிப்பெட்டி (படம் 79) எனப்படும். இதன் மேல் பரப்பில் ஒரு முனையில் ஒரு முளையும் மற்றொரு முனையில் ஒரு நிலை உருளையும் இருக்கின்றன. இது தவிர இதன் முனைகளில் C, D என்ற இரண்டு குதிரைகள் பொறுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இப்பெட்டியின்மேல் ஒரு கம்பி பிகுவுடன் இழுத்து கட்டப்பட்டிருக்கிறது. இக்கம்பி குதிரைகள்மேல் பட்டுச்



படம் 79

சென்று உருளையின் மேலாக வந்து, அதன் மற்றொரு முனையில் ஒரு எடையைத் தாங்கித் தொங்குகிறது. இவ்வெடையை மாற்றி கம்பியின் பிகுவை இஷ்டப்படி மாற்றி அமைக்கலாம். ஒரு இயங்கும் குதிரையினால் தந்தியின் துடிக்கும் பகுதியின் நீளத்தை வேண்டிய அளவிற்கு மாற்ற முடியும். இக்கம்பியை விரலினால் துடிக்கச் செய்தால் ஒலி உண்டாகிறது. இத்துடிப்பு, பெட்டியிலுள்ள காற்றுக்கும் ஏற்பட்டு இவ்வொலியின் உரப்பு (loudness) பெருக்கப்படுகிறது.

ஒரு இசைக்கவையின் (Tuning-fork) துடிப்பு எண்ணுடன் துடிக்கும் இசைமானிக் கம்பியின் நீளத்தைக் காணும் முறை :—

எடையைத் தொங்கவிட்டு கம்பியில் பிகுவை உண்டாக்கவும். இயங்கும் குதிரையை இரு நிலையான குதிரைகளிடையே வைத்து கம்பியைத் துடிக்கச் செய்யவும். இத்துடிப்பு ஒரு ஒலியை உண்டாக்கும். இசைக்கவையைத் தட்டிவிட்டு அதையும் ஒலிக்கச் செய்யவும். இவ்விரு ஒலிகளும் தனித்தனியாகக் கேட்கும். இயங்கும் குதிரையை சரியானபடி நகர்த்தி தந்தியின் துடிப்புப் பகுதியின் நீளத்தை மாற்றி இவ்விரு

ஒலிகளின் ஸ்வரங்களும் ஒத்திருக்கும்படி செய்யவும். ஸ்வரங்கள் ஒன்றி நிற்பதை இவற்றினிடம் ஏற்படும் விம்மலினுல் தெரிந்துகொள்ளலாம். கம்பியின் துடிப்பு எண், இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் இவை நெருங்கி இருந்தால் விம்மல் (beats) நன்ருகக் கேட்கும். கம்பியின் நீளத்தைச் சிறுகச்சிறுக மாற்றி இவ்விம்மல் நீண்ட பொழுதுகளை ஏற்கும்படி செய்ய வும். இரு ஸ்வரங்களும் ஒன்றி நிற்கும்பொழுது விம்மலின் பொழுது மிகவும் நீண்டுபோய் அது தெளிவுடன் இல்லாமல் மறைந்துவிடும். இப் பொழுது கம்பியின் துடிப்புப் பகுதியின் நீளத்தை (CF) அளவிடுக. தந்தியின் இப்பகுதியின் துடிப்பு எண் இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் ணுக்குச் சமமானது.

இந்நீளத்தை மற்ருெரு முறையாலும் காணலாம். '∧' என்ற வடிவ மாக ஒரு காகிதத் துண்டைக் கத்தரித்து அதை தந்தி துடிக்கும் பகுதி யின் நடுமையத்திலே கம்பியின்மீது வைக்கவும். இசைக்கவையைத் தட்டி அதன் காம்பை ஒலிப் பெட்டியின் மேல் பாகத்தில் அழுத்தி வைக்கவும். தந்தியின் துடிப்பு எண், இசைக்கவையின் துடிப்பு எண்ணுக்குச் சம மானுல் தந்தி இசைக்கவையின் துடிப்பை ஏற்று, தானே துடிக்க ஆரம் பிக்கும். இத்துடிப்பினுல் காகிதத் துண்டு தூக்கி எறியப்படும். இவ் விதம் காகிதத்துண்டு தூக்கி எறியப்படவேண்டிய அளவிற்குச் சரியான படி கம்பியின் நீளத்தை மாற்றி அந்நீளத்தை அளவிடுக. இப்பொழுது இந்நீளத்தைக்கொண்ட கம்பியின் பிரதானத் துடிப்பு எண், இசைக் கவையின் துடிப்பு எண்ணேயாகும். இந்நீளமே தந்தியின் இசை யொப்பு (length in unison) நீளமாகும்.

சோதனை 53 :—

தந்திகளின் குறுக்குத் துடிப்பு விதிகளை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

முதல் விதி :—

வெவ்வேறு துடிப்பு எண்களைக்கொண்டே மூன்று இசைக்கவை களை எடுத்துக்கொள்ளவும். ஒரு குறித்த எடையை தொங்கவிட்டு இசை மானித் தந்தியைப் பிகுவுடன் இருக்கச் செய்யவும். இப்பிகுவை மாற்ரு மலும், இசைக்கவைகளைத் தனியே உபயோகித்தும் தந்தியின் இசை யொப்பு (length of unison) நீளங்களைக் கண்டு அளவிடுக. இச் சோதனையில் பிகுவும், கம்பியின் அலகு நீள எடையும் மாருமல் இருக் கின்றன. கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக.

நீரலீடு :—

எண்ணிக்கை	இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் n	தந்தியின் இசை யொப்பு நீளம் l செ. மீ.	$n \times l$

இந்நிரலீட்டில் $n \times l$ மாறிலியாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும். இதுவே முதல் விதியாகும்.

இரண்டாவது விதி :—

இது தந்தியின் ஒரு குறித்த நீளத்தின் துடிப்பு எண்ணுக்கும் அதன் பிகுவுக்கும் உள்ள உறவை காட்டும் விதி. அதாவது $\frac{N}{\sqrt{T}}$ அல்லது $\frac{\sqrt{T}}{N}$ ஒரு மாறிலி என நிரூபிக்கவேண்டும்.

தந்தியை ஒரு குறித்த பிகு (T_1)-வுடன் இருக்கச் செய்யவும். தெரிந்த துடிப்பு எண்ணைக்கொண்ட ஒரு இசைக்கவையை உபயோகித்து அதற்கு எற்ற தந்தியின் இசையொப்பு நீளத்தைக் காணவும். இசைக் கவையின் துடிப்பு எண்ணை n என்றும், தந்தியின் இசையொப்பு நீளத்தை l_1 செ. மீ. எனவும் குறிக்கவும். முன் சோதனைப்படி $n \times l_1$ ஒரு மாறிலி. இதிலிருந்து தந்தியின் ஒரு குறித்த நீளத்தின் (L செ. மீ.) துடிப்பு எண்ணை (N_1)-க் கணக்கிடலாம்.

$$N_1 L = nl_1$$

$$N_1 = \frac{nl_1}{L} \text{ ஆகும்.}$$

இப்பொழுது தந்தியின் பிகுவை மற்றும் இரு முறை மாற்றி தந்தி யின் இசையொப்பு நீளங்களைக் கண்டு ஒவ்வொரு தடவையும் L செ. மீ. கம்பியின் துடிப்பு எண்ணைக் கணக்கிடவும். பிகு T_2-வாக இருக்கும் பொழுது, தந்தியின் இசையொப்பு நீளம் l_2 ஆனல், L செ. மீ. தந்தியின் துடிப்பு எண் $N_2 = \frac{nl_2}{L}$ ஆகும். தந்தியின் பிகுவைக் கிராம் எடையி

லாவது டையின்ஸ் அளவிலாவது குறிக்கவேண்டும். இப்பிகுவை T என குறிப்பிட்டு $\sqrt{T}$-யைக் கணக்கிட்டு வாசகங்களை நிரலீடு செய்து $\frac{\sqrt{T}}{N}$-ஐக் கண்டு குறிக்கவும்.

நிரலீடு :—

இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் 'n' =

எண்ணிக்கை	தந்தியின் பிகு T கிராம் எடை	தந்தியின் இசையொப்பு நீளம் l_1 செ. மீ.	L செ. மீ. தந்தியின் கணக்கிடப்பட்ட துடிப்பு எண் $N = \frac{n l_1}{L}$	$\frac{\sqrt{T}}{N}$
1				
2				
3				

இந்த நிரலீட்டில் $\frac{\sqrt{T}}{N}$ ஒரு மாறிலியாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும். இதுவே இரண்டாவது விதி.

மூன்றுவது விதி :—

இதை நிரூபிக்க மூன்று வெவ்வேறு எடைகளைக்கொண்ட கம்பிகளை எடுத்துக்கொள்ளவும். ஒவ்வொன்றிலும் 10 செ. மீ. நீளம் எடுத்துக்கொண்டு அவற்றின் எடைகளைக் காணவும். இதிலிருந்து கம்பிகளின் அலகு நீள எடைகள் m_1, m_2, m_3 இவற்றைக் கணக்கிட்டுக்கொள்க.

முதல் கம்பியை இசைமானியில் குறித்த பிகுவுடன் (5000 கிராம் எடை) பொருத்தி வைக்கவும். தெரிந்த துடிப்பு எண்ணை (n)-க் கொண்ட ஒரு இசைக்கவையை உபயோகித்து தந்தியின் இசையொப்பு நீளத்தை (l_1)-க் காண்க. இதிலிருந்து L செ. மீ. தந்தியின் துடிப்பு எண் $N = \frac{n l_1}{L}$-ஐக் கணக்கிடுக. இதே பிகுவுடன் மற்ற இரண்டு தந்திகளை ஒலிப்பெட்டியிலிட்டு இச்சோதனையைச் செய்து அவற்றின் L செ. மீ. நீளங்களின் துடிப்பு எண்களை (N_2, N_3) கணக்கிடுக. ஒவ்வொரு தடவையும் $N_1 \sqrt{m_1}$-ஐக் காண்க. $N_1 \sqrt{m_1}$, $N_2 \sqrt{m_2}$, $N_3 \sqrt{m_3}$ இவை மாறிலியாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும். வாசகங்களை நிரலிடுக.

நீரலீடு :—

இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் $n =$

எண்ணிக்கை	தந்திகளின் அலகு நீள எடை 'm' கிராம்	தந்திகளின் இசையொப்பு நீளம் செ. மீ.	L செ. மீ. நீளத் தந்தியின் கணக்கிடப் பட்ட துடிப்பு எண் N	$N\sqrt{m}$

சோதனை 54 :—

இசைமானியால் ஒரு இசைக்கவையின் துடிப்பு எண்ணைக் காண்க.

இசைமானித் தந்தியை குறித்த ஒரு பிருவுடன் (m_1 கிராம் எடை) வைத்து இசைக்கவையைத் தட்டிவிட்டு தந்தியின் இசையொப்பு நீளத்தைக் (l_1) காண்க. பிருவை இருமுறை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் தந்தியின் இசையொப்பு நீளத்தைக் காணவும். தந்தியின் பிருவை டைன்கள் அலகுகளில் குறிக்கவும். தொங்கவிடப்பட்ட எடை m_1 கிலோ கிராம் என்றால் தந்தியின் பிரு $T_1 = 1000 \times m_1\, g$ டைன்கள் ஆகும். இதில் 'g' $= 980$ செ. மீ./செகண்டு/செகண்டு ஆகும். இவ்வாசகங்களிலிருந்து $\frac{\sqrt{T}}{l}$-ஐக் கணக்கிடுக. இது ஒரு மாறிலியாயிருக்கும். இவற்றின் இடை மதிப்பைக் கணக்கிடுக. 100 செ. மீ. நீளம் தந்தியை எடையிட்டு அதன் அலகு நீளத்தின் எடை (m)-ஐக் காண்க.

நிரலிடு :—

எண்ணிக்கை	தந்தியின் பிரு T டைன்கள்	தந்தியின் இசையொப்பு நீளம் l செ. மீ.	$\sqrt{T}$	$\frac{\sqrt{T}}{l}$
1				
2				
3				

இசைக்கவையின் துடிப்பு எண்ணை கீழ் கொடுத்த வாய்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$n = \frac{1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{m}} \times \frac{\sqrt{T}}{l}$$

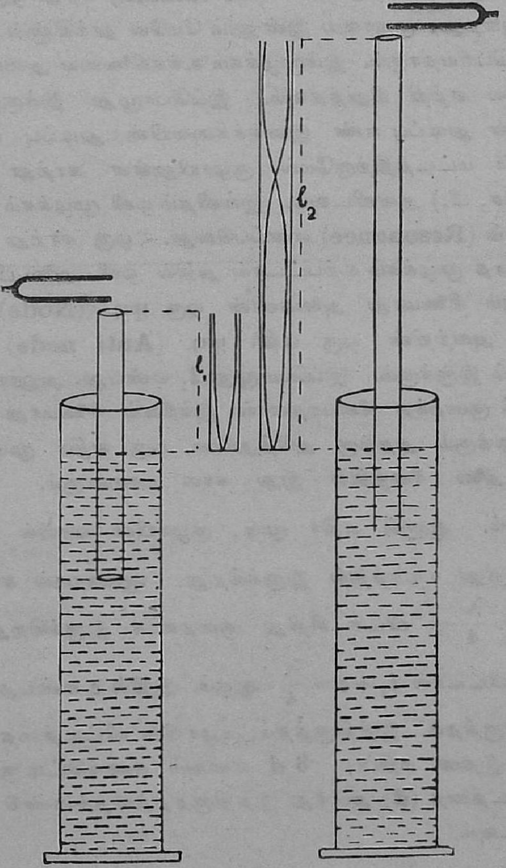
இதில் $\frac{\sqrt{T}}{l}$ -ன் இடை மதிப்பை உபயோகித்து இசைக்கவையின் துடிப்பு எண்ணைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

அநுநாதம் (Resonance)

சோதனை 55 :—

அநுநாதச் சோதனைக் குழாய்களை உபயோகித்து காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் காண்க :—

ஒரே விட்டத்தைக்கொண்ட (சுமார் 5 செ. மீ.) இரண்டு தகரக் குழாய்களை உபயோகித்து இச்சோதனையைச் செய்யலாம். இவ்விரண்டில்



படம் 80

ஒன்று குட்டையாகவும் மற்றொன்று இதைவிட மூன்று மடங்கு நீளமாகவும் இருக்கவேண்டும்.

நீண்டதொரு கண்ணுடிச் சாடியில் தண்ணீரை நிரப்பி வைக்கவும். குட்டையான தகரக் குழாயை, அதன் பெரும் பகுதி, சாடித் தண்ணீருக்குள் இருக்கும்படி செங்குத்தாக ஒரு தாங்குகால் கவ்வியினுல் நிறுத்தி வைக்கவும். ஒரு இசைக்கவையைத் தட்டி குழாயின் வாயினருகில் வைக்கவும் (படம் 80). இசைக்கவை துடிக்கும்பொழுதே குழாயை மெதுவாக மேலே தூக்கவும். கொஞ்சம் தூக்கியவுடன் இசைக்கவை துடிப்பை குழாயிலுள்ள காற்று நிரை (air column) எற்று ஒரு மெல்லிய ஒலியை எழுப்புகிறது. குழாயை இன்னும் மேலே தூக்கினுல் இவ்வொலியின் முழக்கம் பெரியதாகும். இம்முழக்கம் உச்சநிலையை அடையும் வரை குழாயை மேலே எற்றி நிறுத்தவும். இப்பொழுது இக்குழாயிலுள்ள காற்று நிரையின் துடிப்பு எண் இசைக்கவையின் துடிப்பு எண்ணுக்கு சமமாகும். நீர் மட்டத்திற்குமேல் குழாயிலுள்ள காற்று நிரையின் நீளத்தை (l_1 செ, மீ.) அளவிடவும். இவ்விதம் ஒலி முழக்கம் எற்படுவது தான் அனுநாதம் (Resonance) எனப்படுவது. ஒரு காற்று நிரையிலே இவ்வித அனுநாத முழக்கம் எற்பட்டால் அதில் ஒலி அலை பிரதிபலிப்பினுல் உண்டாகும் நிலைமாறு அலைகளின் ஒரு முடி (Node) தண்ணீர் மட்டத்திலும், அவற்றின் ஒரு எதிர் முடி (Anti node) குழாயின் திறந்த வாயிலும் இருக்கும். இப்பொழுது l_1 என்பது, அனுநாத காற்று நிரையின் மிகக் குறைந்த நீளமாதலால் இக்நீளம் நிலைமாறு ஒலி அலைகளின் ஒரு முடிக்கும் அதற்கு அடுத்துள்ள ஒரு எதிர் முடிக்குமுள்ள தூரமாகும். அலை நீளத்தில் இது கால் பாகமாகும். ஆகையால் $l_1 = \frac{\lambda}{4}$ ஆகும். ஆனுல் எதிர் முடி, குழாயின் வாயில் இல்லாமல் அதற்குமேல் சிறிது உயரத்தில் இருக்கிறது. ஆகையால் காற்று நிரையின் l_1 செ. மீ. $\frac{\lambda}{4}$-ஐ விடச் சிறிது குறைவாக இருக்கிறது. இதை c எனக் குறிப்பிட்டால் $l_1 + c = \frac{\lambda}{4}$ ஆகும். இதில் c என்பது குழாயின் திறந்த வாய் திருத்தம். இத்திருத்தம், குழாயின் விட்டத்தைப் பொறுத்தது எனவும் இதன் மதிப்பு $\cdot 3\,d$ எனவும் கணக்கிட்டிருக்கிருர்கள். குழாயின் விட்டத்தை (d) அளந்து இத்திருத்தத்தைக் கண்டு அலை நீளத்தைக் கணக்கிடவும்.

$$\frac{\lambda}{4} = l_1 + \cdot 3d$$

அல்லது $\lambda = 4\,(l_1 + \cdot 3d)$

இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் N என்ருல் ஒலியின் வேகம் $N\lambda$ ஆகும். ஆகையால் ஒலியின் வேகம்

$$N\lambda = 4N(l_1 + \cdot 3d)$$

இதைக் கணக்கிடவும்.

இத்திருத்தத்தை நீக்கிவிட்டே ஒலியின் வேகத்தை காணலாம். இப்பொழுது கண்ட அனுநாதக் காற்று நிரையின் நீளத்தை (l_1 செ. மீ.) முதல் நீளம் எனக் கொள்க. மற்ருெரு நீண்ட குழாயை உபயோகித்து அதை இரண்டாவது அனுநாத நிலேயில் நிறுத்தி காற்று நிரையின் நீளத்தை (l_2 செ. மீ.) அளவிடுக. இப்பொழுது $(l_2 + c) = \frac{3\lambda}{4}$ ஆகும்.

$$l_2 + c = \frac{3\lambda}{4}$$

$$l_1 + c = \frac{\lambda}{4}$$

$$\text{ஆகையால் } l_2 - l_1 = \frac{\lambda}{2}$$

இதில் திருத்தம் c யின்றி அலே நீளத்தைக் காணலாம்.

$$\lambda = 2(l_2 - l_1)$$

ஆகையால் ஒலியின் வேகம்

$$v = N\lambda = 2N(l_2 - l_1) \text{ செ. மீ./செகண்டிற்கு}$$

இவ்வேகத்தைக் கணக்கிடுக. இது பவன உஷ்ணநிலேயில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தைக் குறிக்கும். பவன உஷ்ணநிலே எறிஞல் இவ்வேகமும் அதிகரிக்கும். உஷ்ணநிலே இறங்கிஞல் ஒலியின் வேகம் குறையும். உஷ்ணநிலே இறங்கும்பொழுது ஒலியின் வேகம் ஒவ்வொரு டிகிரிக்கு 61 செ. மீ. வீதம் குறைகிறது. பவனத்தின் உஷ்ணநிலேயை $t^\circ c$ எனவும் இவ் உஷ்ணநிலேயில் காற்றில் ஒலியின் வேகத்தை v_t என்றும் குறித்தால், $0^\circ c$ உஷ்ணநிலேயில் இதன் வேகம்

$$v_o = (v_t - 61t) \text{ செ. மீட்டராகும்}$$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

இச்சோதனேயை வேருெரு விட்டத்தைக்கொண்ட குழாய்களே உபயோகித்தும், வேருெரு இசைக்கவையை உபயோகித்தும் பல முறை செய்தும் $0^\circ c$ உஷ்ணநிலேயில் ஒலியின் வேகத்தைக் காண்க.

நிரலீடு :—

இசைக்கவையின் துடிப்பு எண் = N_1

குழாயின் விட்டம் d செ. மீ.	முதல் அனுநாத நிலையில் காற்று நிரையின் நீளம் l_1 செ. மீ.	இரண்டாவது அனுநாத நிலையில் காற்று நிரையின் நீளம் l_2 செ. மீ.	அலை நீளம் $\lambda = 2\,(l_2 - l_1)$ செ. மீ.	ஒலியின் வேகம் $v_t = 2\,N_1(l_2 - l_1)$	திறந்த வாய்த்திருத்தம் $C = \frac{l_2 - 3l_1}{2}$	$\frac{c}{d}$

காந்த வியல் (Magnetism)

காந்த மண்டலம் வரைதல்
(Mapping of magnetic field)

சோதனை :—56

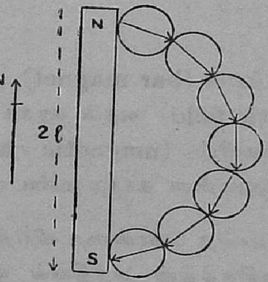
ஒரு காந்தச் சட்டத்தை (bar magnet) பூமியின் காந்த மண்டலத்தில் (Earth's magnetic field) அதன் காந்த அச்சு (magnetic axis) காந்தத் துருவ ரேகையில் (magnetic meredian) இருக்கும்படி வைத்து அதைச் சுற்றிலுமுள்ள காந்த மண்டலத்தை வரைக.

ஒரு பலகை மீது காகித மொன்றை விரித்து அதன் நான்கு மூலைகளையும் ஒட்டவும். காகிதத்தின் மத்தியில் ஒரு திசைகாட்டி முள்ளை (compass needle) வைத்து அதன் இரு முனைகளையும் காகிதத்தில் புள்ளிகளால் குறிக்கவும். திசைகாட்டி முள்ளை எடுத்துவிட்டு இவ்விரு புள்ளிகளையும் ஒரு நேர்க்கோட்டால் சேர்த்து இக்கோட்டை இரு புறமும் நீட்டி விடவும். இக்கோடு பூமியின் காந்த துருவ ரேகையைக் குறிக்கும் (magnetic meredian). இது சற்றேறக்குறைய தென்வட துருவ திசையில் இருக்கும்.

ஒரு காந்தச் சட்டத்தை அதன் அச்சு இக்கோட்டுடன் பொருந்தி இருக்கும்படியும் அதன் வடதுருவம் (Northpole) வடக்கு நோக்கி இருக்கும்படியும் வைக்கவும். காந்தச் சட்டத்தை சுற்றியுள்ள காந்த மண்டலத்தை வரையிட இச்சட்டத்தின் வடதுருவத்தினருகில் ஒரு புள்ளியை எடுத்துக்கொள்ளவும். ஒரு திசைகாட்டி முள்ளை இதனருகில் வைத்து நகர்த்தி இதன் ஒரு முனை இப்புள்ளிக்கு நேர் மேலே இருக்கும்படி வைக்கவும். இப்பொழுது இதன் மற்றொரு முனையை ஒரு புள்ளியினால் காகிதத்தில் குறிக்கவும். திசை காட்டி முள்ளை நகர்த்தி இதன் முதல் முனை இவ்விரண்டாவது புள்ளிக்கு நேர் மேலே இருக்கும்படி வைத்து இதன் மறுமுனையை மூன்றாவது புள்ளியொன்றால் குறிக்கவும். இவ்விதமே திசை காட்டியை சிறுகச் சிறுக காந்தச் சட்டத்தின் மறுமுனை வரையில் நகர்த்தி அதன் முனைகளை புள்ளிகளால் குறிக்கவும் (படம் 81). திசைகாட்டிமுள்ளை எடுத்துவிட்டு இவ்விதம் கிடைத்த புள்ளிகளை ஒரு மெல்லிய தொடர்ந்த கோட்டால் சேர்க்கவும். இக்கோடே ஆரம்பத்தில் எடுத்துக்கொண்ட புள்ளி வழியாகப் போகும் காந்த

மண்டல வரையாகும். இப்பொழுது காந்தச் சட்டத்தின் வடதுருவத்தினருகில் பல புள்ளிகளை எடுத்துக்கொண்டு ஒவ்வொரு புள்ளி வழியாகப் போகும் காந்த சக்தி வரையைக் (**Magnetic line of force**) குறிக்கவும்.

Method of Tracing lines of force with compass needle



படம் 81

இதேவிதம் தென் துருவத்தினருகில் பல புள்ளிகள் வழியாக செல்லும் காந்தசக்தி வரைகளையும் குறிக்கவும். இக் காந்த சக்தி வரைகளைக் குறிக்கும்பொழுது அவற்றின் இயல்புகளைத் தெரிந்து மனதில் வைத்துக் கொள்ளவேண்டும். அவைகளாவன :—

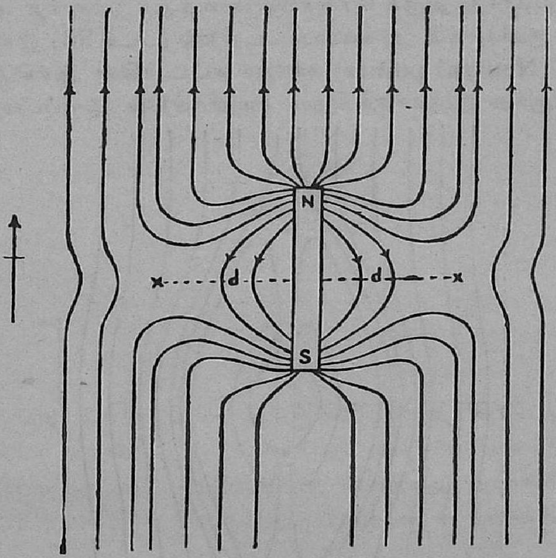
(1) எல்லா காந்த சக்தி வரைகளும் காந்த சட்டத்தின் வட துருவத்திலிருந்து கிளம்பி தென் துருவத்தை அடையும். இவ்வரைகளின் திசையைச் சரியானபடி குறிக்கவும்.

(2) எந்த இரண்டு காந்த சக்தி வரைகளும் ஒன்றையொன்று குறுக்கிடாது.

(3) காந்த சட்டத்தின் அருகிலில்லாமல் கொஞ்ச தூரத்திலுள்ள காந்த சக்தி வரைகள் பூமியின் காந்தத்தால் பாதிக்கப்பட்டு தெற்கிலிருந்து வடக்கு நோக்கிச் செல்லும்.

இவ்விதம் கிடைக்கும் காந்தசக்தி வரைகளைப் படத்தில் பார்க்கவும் (படம் 82). கிடைத்த காந்த சக்தி வரைப்படத்தில் காந்தச் சட்டத்தின் இருபுறத்திலும் உள்ள இரண்டு புள்ளிகளைச் சுற்றியுள்ள சிறு பரப்புக்குள் இவ்வரைகள் புகாமல் வளைந்து செல்லும். இவ்விடங்களில் மிகக் கவனமாக காந்த சக்தி வரைகளை வரையவேண்டும். கடைசியில் இப்புள்ளிகள் ஒரு உட் குழிவாக வளைந்த நாற்கோணத்தால் சூழப்பட்டிருக்கும். இந் நாற்கோணங்களை காந்த சக்தி வரைகளால் சிறியதாக்கி இப்புள்ளிகளைக்

கூடியவரையில் திருத்தமாகக் கண்டு குறிக்கவும். இப்புள்ளிகள் சூனியப் புள்ளிகளாகும் (Neutral points). இவ்விரு புள்ளிகளையும் சேர்க்கும் கோடு காந்த சட்ட அச்சின் மையக்குத்துக் கோடாக இருக்கும். தவிர



(படம் 82)

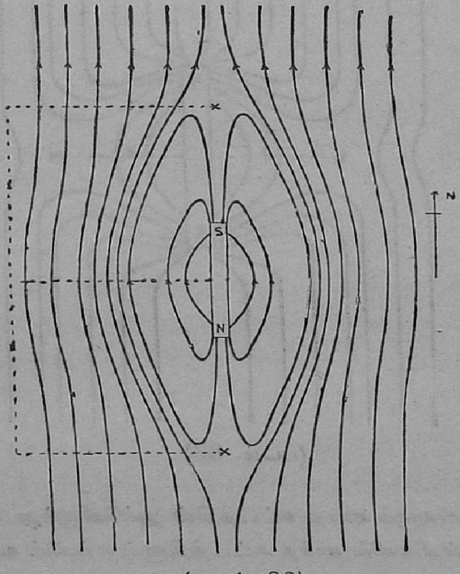
இவ்விரண்டு புள்ளிகளும் காந்த சட்டத்தின் அச்சிலிருந்து சம தூரத்தில் இருக்கும். இப்புள்ளிகளில் காந்த சட்டத்தினால் ஏற்படும் காந்த மண்டல வலிமையும் (intensity of magnetic field) பூமியின் காந்த மண்டல வலிமையும் ஒன்றுக்கொன்று சரிசமமாகவும், நேர் எதிராகவும் உள்ளன. ஆகையால் இப்புள்ளிகளில் இவ்விரு காந்தமண்டலங்களும் ஒன்றை யொன்று அழித்து விடுகின்றன. காந்த அச்சிலிருந்து இப்புள்ளிகளின் இடை மதிப்புத்தூரம் 'd' ஐ அளவிடுக. இக்காந்தச் சட்டத்தின் திருப்புத் திறனை (Moment) 'M' என்றும் அதன் நீளத்தை $2l$ என்றும் கொண்டால் இப்புள்ளியில் இக்காந்தத்தால் உண்டாகும் காந்த மண்டலத்தின் வலிமை $= \frac{M}{(d^2+l^2)^{3/2}}$. இது பூமியின் காந்த மண்டல வலிமை H-க்குச் சமமாகும்.

$$\frac{M}{(d^2+l^2)^{3/2}} = H.$$

25

பூமியின் காந்த மண்டல வலிமை (H) யின் மதிப்பை ·38 அலகுகள் என்று கொண்டு காந்தச் சட்டத்தின் திருப்புத் திறனை (M)க் கணக்கிடுக.

இதே விதம் காந்தச் சட்டத்தை அதன் வடதுருவம் தெற்கு நோக்கி இருக்கும்படி காந்த துருவ ரேகையில் வைத்து இக்காந்த மண்டல சக்தி வரைகளைக் குறிக்கவும். இவ்வரைப்படத்தில் (படம் 83) இரண்டு சூனியப் புள்ளிகள் (Neutral points) காந்தச் சட்டத்தின் அச்சிலேயே அதன் மையத்திலிருந்து இருபக்கத்திலும் சமதூரத்தில் இருப்பதைக் கவனிக்க



(படம் 83)

வும். காந்தச் சட்ட மையத்திலிருந்து இவற்றின் தூரங்களை அளவிடுக. இவற்றின் இடை மதிப்பு d_1 செ. மீட்டர் என்று கொள்ளவும்.

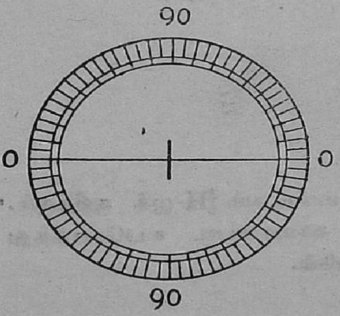
ஒரு காந்தச் சட்டத்தின் அச்சிலுள்ள புள்ளியில் காந்த மண்டல வலிமை $\frac{2Md_1}{(d_1^2-l^2)^2}$. இது பூமியின் காந்த மண்டல வலிமைக்குச் (H) சமமாகும்.

$$\frac{2Md_1}{(d_1^2-l^2)^2}=H.$$

H = ·38 எனக்கொண்டு காந்தச் சட்டத்தின் திருப்புத்திறனை (M)க் கணக்கிடுக.

விலகு காந்தமானி
(Deflection magnetometer)

இக்கருவியில் 2 செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு காந்த ஊசி படுகைத் தளத்தில் பிணர்வில்லாமல் திரும்பும்படி ஏற்றி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் திருப்பத்தை எளிதாகத் தெரிந்துகொள்ள இவ்வூசியுடன் ஒரு லேசான நீண்ட அலுமினிய சூசிகையொன்று படத்தில் காட்டியபடி (படம் 84) செங்குறுக்காகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இச்சூசிகையின் இரு முனைகளும் படுகைத் தளத்தில் வரையப்பட்ட ஒரு வட்ட வடிவ டிகிரி அளவியின்மேல் நகருகின்றன. இவ்வளவி ஒரு சமதள ஆடியின் (plane mirror) மேல் ஏற்றி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சூசிகையின் வாசகங்களைப் பெயர்ச்சிப் பிழையின்றி காண, சூசிகை ஆடியில் தன் பிம்பத்தைத் தானே மறைக்கும்படியாக நமது கண்ணை வைத்துக்கொண்டு பார்க்கவேண்டும். எப்பொழுதும் சூசிகையின் இருமுனைகளின் வாசகங்களைக் காணவேண்டும். இவை முழுவதும் ஒரு கண்ணாடி மூடியுடன் உள்ள ஒரு பித்தளைப் பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வழக்கமாக இப்பெட்டி ஒரு அளவிச் சட்டத்தின்மேல் பொருத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கும். இச்சட்டத்தை எத்திசையில் வேண்டுமானாலும் திருப்பி வைக்கமுடியும்.



படம் 84

விலகு காந்தமானியின் தத்துவம் ;—

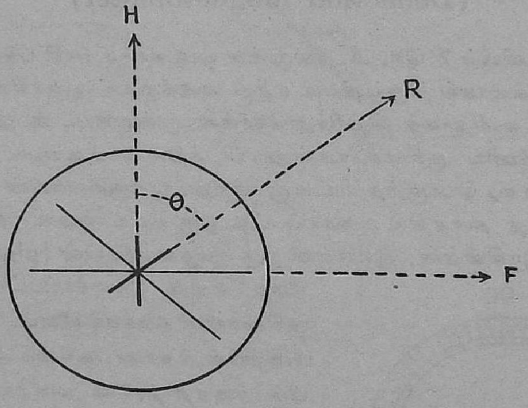
காந்தமானியின் காந்த ஊசி பூமியின் காந்த மண்டலத்தால் (H) இழுக்கப்பட்டு எப்பொழுதும் காந்தத் துருவ ரேகையில் நிற்கும். இப்பொழுது ஒரு காந்தச் சட்டத்தால் வேறொரு காந்த மண்டலத்தை (F) பூமியின் காந்த மண்டலத்திற்கு செங்குறுக்குத் திசையில் தொழிற்படச் செய்தால் (படம் 85) இவ்விரு காந்த மண்டலங்களாலும் பாதிக்கப்பட்டு, திசை காட்டி முள் தென் வட துருவ ரேகையிலிருந்து இவ்விரண்டின் பயனிலைத் திசைக்குத் திரும்பி நிற்கும். முள் θ டிகிரிகள் திரும்புவதாகக் கொண்டால்

$$\frac{F}{H} = \tan\theta, \quad \frac{F}{H} = \text{இருக்கை } \theta$$

$$F = H \tan\theta, \quad F = H \times \text{இருக்கை } \theta$$

இப்பொழுது H தெரிந்தால் Fஐ-க் கணக்கிடலாம்.

விலகு காந்தமானிச் சோதனைகளில் எப்பொழுதும் இரு காந்த மண்டலங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குறுக்காக இருக்கவேண்டும்.



படம் 85

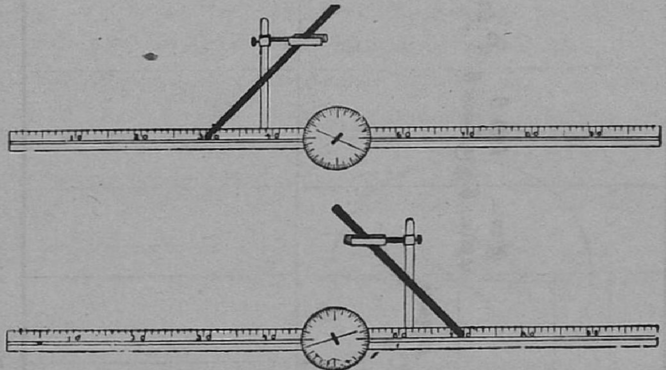
இவ்விரண்டில் ஒன்று பூமியின் காந்த மண்டலம் H-ஐக் குறிக்கும். மற்றொன்றை ஒரு காந்தச் சட்டத்தைச் சரியானபடி உபயோகித்து H-க்குச் செங்குறுக்காக உண்டாக்கவேண்டும்.

சோதனை 57 :—

காந்தச் சட்டத்தின் ஒரு துருவத்தை மாத்திரம் காந்த விலகு மானியுடன் உபயோகித்து தலைகீழ்ச் சதுரவிதியை நிரூபித்துக் காட்டுக.

விலகு மானியை அதன் அளவிப்புயங்கள் கிழக்கு மேற்காக (பூமியின் காந்தத் துருவ ரேகைக்கு செங்குறுக்காக) இருக்கும்படி வைத்து, விலகு மானியைத் திருப்பி அதன் சூசிகையின் முனைகளின் வாசகங்கள் 0 — 0 வைக் காட்டும்படி வைக்கவும். சுமார் 12 அங்குல நீளமுள்ள காந்தச் சட்டமொன்றை எடுத்துக்கொண்டு அதை படத்தில் காட்டியபடி (படம் 86) ஒரு மரச்சட்டகத்தால் பிடித்து நிறுத்தி வைக்கவும். அதன் வடதுருவம் (North pole) விலகு மானியின் மையத்திற்கு குறித்த தூரத்தில் (d) நேர் மேற்காகவும் அதன் தென் துருவம் (South pole) இம்மையத்திற்கு செங்குத்தாக மேலேயும் இருக்கவேண்டும். இப்பொழுது விலகுமானியின் சூசிகை திரும்பி நிற்கும். இதன் முனைகளின் வாசகங்களை (θ_1, θ_2) க் கண்டு குறிக்கவும். பிறகு காந்தச் சட்டத்தைத் தலைகீழாகத் திருப்பி அதன் தென் துருவம் விலகுமானி மையத்திற்கு இதே தூரத்தில் (d) மேற்கிலும், வடதுருவம் இம்மையத்திற்கு செங்குத்தாக மேலேயும் இருக்கும்படி வைத்து சூசிகையின் வாசகங்களைக் (θ_3, θ_4) காண்க. இப்

பொழுது காந்தச் சட்டத்தின் ஒரு துருவத்தை விலகுமானி மையத்திற்கு மேற்கில் வைத்து 4 வாசகங்கள் கிடைத்தன. இதே தூரத்தில் (d)



படம் 86

காந்தச்சட்டத்தின் ஒரு துருவம் விலகுமானி மையத்திற்குக் கிழக்கிலிருக்கும்படிச் செய்து கிடைக்கும் 4 வாசகங்களையும் (θ_5, θ_6, θ_7, θ_8) கண்டு குறிக்கவும். இந்த எட்டு வாசகங்களும் அனேகமாக ஒரே மதிப்பை உடையதாக இருக்கும். இவை கொஞ்சம் வித்தியாசப்பட்டால் இவற்றின் இடைமதிப்பை (θ)-க் காணவும்.

இப்பொழுது தலைகீழ்ச் சதுர விதிப்படி காந்தச் சட்டத்தின் துருவத்தின் வலிமை (**Pole strength**) 'm' என்றால் இதனால் காந்தமானியின் மையத்தில் ஏற்படும் காந்த மண்டலத்தின் வலிமை

$\mathbf{F} = \dfrac{m}{d^2}$ ஆகும். விலகுமானியின் தத்துவப்படி,

$$\mathbf{F} = \mathbf{H} \tan \theta$$

$$\frac{m}{d^2} = \mathbf{H} \tan \theta$$

$$\frac{m}{\mathbf{H}} = d^2 \tan \theta$$

m, **H** இவை மாறிலியாதலால், $d^2 \tan \theta$, ஒரு மாறிலியாகும். d என்ற தூரத்தை பலமுறை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் விலகுமானி ஊசிகை திரும்பின கோணத்தைக் கண்டு $d^2 \tan \theta$ மாறிலி என நிரூபிக்கவும். இதை நிரூபித்தால் காந்த துருவத்தின் தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபித்ததாகும். வாசகங்களை கீழ்கொடுத்த விதம் நிரலிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	காந்தமானி மையத்திலிருந்து காந்தத் துருவத்தின் தூரம் d செ. மீ.	திசை காட்டி முள்ளின் திரும்பு கோணம்								இடை மதிப்பு θ	$tan\ \theta$ இருக்கை θ	$d^2\ tan\ \theta$
		காந்தத் துருவம் திசை முள்ளுக்கு										
		மேற்கில்				கிழக்கில்						
		வட துருவம் கீழே		தென் துருவம் கீழே		வட துருவம் கீழே		தென் துருவம் கீழே				
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8			

இந்நிரலீட்டில் $d^2\ tan\ \theta$ அல்லது $d^2 \times$ இருக்கை θ மாறிலியாயிருப்பதைக் காணவும்.

காந்தங்களின் திருப்புத் திறன்களை ஒப்பிடல்

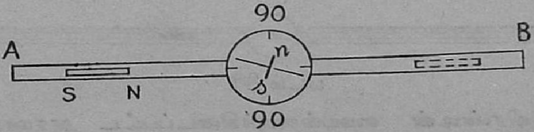
சோதனை 58 :—

விலகு மானியை உபயோகித்து இரண்டு குட்டையான காந்தச் சட்டங்களின் திருப்புத் திறன்களை (Moments) ஒப்பிடவும்.

இச்சோதனையை இருமுறைகளில் செய்யலாம். (1) விலகுமானியை காந்தச் சட்டத்தின் அச்சில் வைத்து (A நிலையில்) செய்வது (2) விலகுமானியை காந்தச் சட்டத்தின் செங்குறுக்குக் கோட்டில் (Perpendicular bisector) வைத்து (B நிலையில்) செய்வது.

A நிலை :—

ஒரு குட்டையான காந்தச் சட்டத்தின் அச்சில் அதன் மையத்திலிருந்து d_1 செ. மீ. தூரத்தில் ஒரு புள்ளியில் அதனால் உண்டாகும் காந்த மண்டலத்தின் வலிமை $F_1 = \frac{2M_1}{d_1^3}$. இங்கு M_1 என்பது காந்தச் சட்டத்தின் திருப்புத் திறன். இம் மண்டலம் சட்டத்தின் அச்சின் திசையிலேயே தொழிற்படும். காந்தச் சட்டத்தை கிழக்கு மேற்கில் வைத்து (படம் 87) அதன் அச்சில் விலகு மானியை வைத்தால் விலகுமானி மையத்தில், பூமியின் காந்த மண்டலம் H, காந்தச் சட்டத்தின் காந்த



படம் 87

மண்டலம் F இவை இரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று லம்பகமாக இருக்கும். இதனால் திசை முள் θ_1 டிகிரிகள் திரும்பினால் $\frac{F}{H} = tan\,\theta_1$

$$\text{அல்லது } \frac{2M_1}{d_1^3H} = tan\,\theta_1 \text{ ஆகும்.}$$

இதே தூரத்தில் மற்றொரு சட்டத்தை வைத்து அதனாலுண்டாகும் திசைமுள் திருப்பத்தை (θ_2)க் கண்டால்

$$\frac{2M_2}{d_1^3H} = tan\,\theta_2 \text{ ஆகும்.}$$

இவ்விரண்டு சமன் பாடுகளிலிருந்து

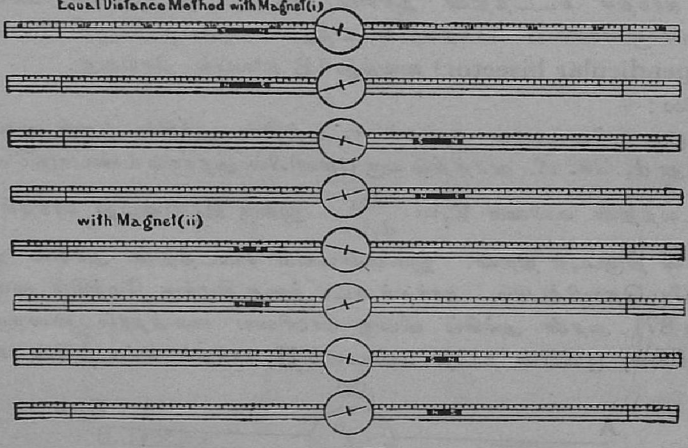
$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{tan\,\theta_1}{tan\,\theta_2} \text{ எனத் தெரிகிறது.}$$

இம்முறைக்கு சமதூரவழி (equal distance method) என்று பெயர்.

சமதூரவழி :— A நிலை

விலகு மானியை அதன் அளவிப் புயங்களின் மத்தியில் வைத்து திருப்பி அதன் சூசிகையின் முனைகள் 0—0 வாசகங்களைக் குறிக்கச்

செய்யவும். அதன் புயங்கள் சூசிகை காட்டும் திசையிலேயே கிழக்கு மேற்காக இருக்கவேண்டும். இதுவே **A** நிலையாகும். இப்புயத்தின்மேல் விலகு மானிக்கு மேற்கில் படத்தில் காட்டியபடி (படம் 88) ஒரு குறித்த தூரத்தில் (d_1) முதல் காந்தச் சட்டத்தை அதன் வடதுருவம் கிழக்கு நோக்கி வைக்கவும். இவ்விரண்டிற்குமுள்ள தூரம் விலகுமானி, காந்தச்



படம் 88

சட்டம் இவ்விரண்டின் மையங்களுக்கிடைப்பட்ட தூரமாகும். இப்பொழுது விலகு மானியில் சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களை (θ_1, θ_2)க் கண்டு குறிக்கவும். காந்தச் சட்டத்தைத் திருப்பி அதாவது அதன் தென் துருவம் கிழக்கு நோக்கி இருக்குமாறு அதே தூரத்தில் வைத்து மறுபடியும் சூசிகையின் வாசகங்களை (θ_3, θ_4) குறித்துக் கொள்ளவும். இதே தூரத்தில் விலகுமானிக்குக் கிழக்கில் காந்தச் சட்டத்தை அதன் வட துருவம் முதலில் கிழக்கு நோக்கியும் பிறகு மேற்கு நோக்கியும் வைத்து சூசிகையின் வாசகங்களை ($\theta_5, \theta_6, \theta_7\ \theta_3$) க் காண்க. இவற்றின் இடை மதிப்பு θ_1ஐக் கண்டு கொள்க.

இதே தூரத்தில் (d_1) இரண்டாவது காந்தச் சட்டத்தை மேலே விவரித்த நான்கு நிலைகளிலும் வைத்து (படம் 88) சூசிகையின் 8 வாசகங்களின் இடை மதிப்பு θ_2 வைக் காணவும். இப்பொழுது இவ்விரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் திருப்புத்திறன்கள் M_1, M_2 என்றால்

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{\text{இருக்கை } \theta_1}{\text{இருக்கை } \theta_2}$$

இத்தூரத்தை மற்றும் இருமுறை மாற்றி இச்சோதனையை செய்து $\frac{M_1}{M_2}$ வைக் காணவும். கிடைத்த வாசகங்களை நிரலிடுக.

நிரலீடு (1) (A நிலை)

முதல் காந்தச் சட்டம் (M_1)

தூரம் d செ. மீ.	விலகுமானி குசிகையின் ஒதுக்கக் கோணம் (டிகிரிகள்)								இடை மதிப்புக் கோணம் θ_1
	காந்தச் சட்டம் விலகு மானிக்கு								
	மேற்கே				கிழக்கே				
	வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	
d_1									
d_2									
d_3									

நிரலீடு (2) (A நிலை)

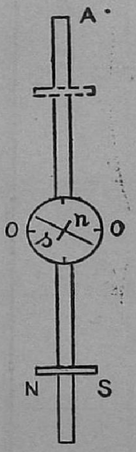
இரண்டாவது காந்தச் சட்டம் (M_2)

தூரம் d செ. மீ.	விலகு மானி குசிகையின் ஒதுக்கக் கோணம் (டிகிரிகள்)								இடை மதிப்புக் கோணம் θ_2
	காந்தச் சட்டம் விலகுமானிக்கு								
	மேற்கே				கிழக்கே				
	வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	θ_6	θ_7	θ_8	
d_1									
d_2									
d_3									

நிரலிடு (3) (A நிலை)

தூரம் செ. மீ.	θ_1	θ_2	$tan\ \theta_1$	$tan\ \theta_2$	$\frac{M_1}{M_2} = \frac{tan\ \theta_1}{tan\ \theta_2}$
d_1					
d_2					
d_3					

(b) சமதூர வழி (B நிலை)



படம் 89

இச்சோதனையில் விலகுமானியின் காந்த முள்ளின் மையம், காந்த சட்டத்தின் செங்குத்துக்கோட்டில் இருக்க வேண்டும். இதற்கு விலகுமானியின் புயங்களை பூமியின் காந்த மண்டல ரேகையின் திசையில் வைத்து இப்புயங்களின் மேல் காந்தச் சட்டத்தை அதன் அச்சு கிழக்கு மேற்காக (படம் 89) இருக்கும்படி குறித்த தூரத்தில் வைத்து சூசிகையின் வாசகங்களைக் கண்டு குறிக்க வேண்டும்.

A நிலையில் எடுத்துக்கொண்ட தூரங்களையே இச்சோதனைக்கும் உபயோகப்படுத்தி இரு காந்தச் சட்டங்களால் ஏற்படும் விலகுமானி சூசிகையின் ஒதுக்கக் கோணங்களைக் கண்டு நிரலிடுக.

நிரலீடு (4) (B நிலை)

முதல் காந்தச் சட்டம் (M_1)

தூரம் செ. மீ.	விலகு மானி குசிகையின் ஒதுக்கக் கோணம் (டிகிரிகள்)								இடை மதிப்புக் கோணம் ϕ_1
	காந்தச் சட்டம் விலகு மானிக்கு								
	வடக்கே				தெற்கே				
	வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		
	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8	
d_1									
d_2									
d_3									

நிரலிடு (5) (B நிலை)

இரண்டாவது காந்தச் சட்டம் (M_2)

தூரம் செ. மீ.	விலகு மானி சூசிகையின் ஒதுக்கக் கோணம் (டிகிரிகள்)								இடை மதிப்புக் கோணம் ϕ_2
	காந்தச் சட்டம் விலகு மானிக்கு								
	வடக்கே				தெற்கே				
	வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		வட துருவம் கிழக்கு நோக்கி		வட துருவம் மேற்கு நோக்கி		
	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8	
d_1									
d_2									
d_3									

நீரலிடு (6) (B நிலை)

தூரம்	ϕ_1	ϕ_2	$tan\ \phi_1$	$tan\ \phi_2$	$\frac{M_1}{M_2} = \frac{tan\ \phi_1}{tan\ \phi_2}$
d_1					
d^2					
d^3					

$\frac{M_1}{M_2}$ வின் இடை மதிப்பு =

சம ஒதுக்க அல்லது சூனியநிலை முறை
(Equal deflection or null method)

சோதனை 59 :—

விலகு மானியை உபயோகித்து சம ஒதுக்க அல்லது சூனிய நிலை முறையில் இரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் திருப்புத்திறன்களை ஒப்பிடவும்.

இச்சோதனையையும் **A** நிலையிலும் **B** நிலையிலும் செய்யலாம்.

A நிலை வழி

விலகு மானியின் புயங்களை கிழக்கு மேற்காக வைத்து, அதன் சூசிகை முனைகள் அளவியின் சூனியப் பிரிவுகளைக் குறிக்கும்படி வைக்கவும். படத்தில் காட்டியபடி (படம் 90) இரண்டு காந்தச் சட்டங்களையும் விலகு மானிக்கு இருபுறமும் வைக்கவும். ஒன்றை ஏதாவது ஒரு குறித்த தூரத்தில் (d_1) வைத்துக்கொண்டு மற்றொன்றை கிழக்கும் மேற்கும் நகர்த்தி விலகு மானியின் சூசிகை முனைகள் சூனியப் பிரிவுகளிலேயே நிற்கும்படிச் செய்யவும். விலகு மானி மையத்திலிருந்து இவ்விரண்டு காந்தச் சட்டங்களின் தூரங்களை அளவிடுக. இச்சோதனையில் முதல் காந்தச் சட்டத்தினால் சூசிகை $\theta°$ திரும்புவதாகக் கொண்டால் இரண்டாவது சட்டத்தினால் ஏற்படும் சூசிகைத் திருப்பம் இதற்கு எதிராகவும் சமமாகவும் இருக்கும்.

முதல் காந்தச் சட்டத்தின் திருப்புத்திறன் M_1 என்றால்

$$\frac{2M_1}{d_1^3} = H \tan\theta \text{ அல்லது } \frac{2M_1}{H \tan\theta} = d_1^3$$

இரண்டாவது காந்தச் சட்டத்திற்கு

$$\frac{2M_2}{d_2^3} = H \tan\theta \text{ அல்லது } \frac{2M_2}{H \tan\theta} = d_2^3$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$$

d_1 என்ற தூரத்தை இருமுறை மாற்றி தூரம் d_2 வைக் கண்டு வாசகங்களைக் கண்டு நிரலிடுக.

நிரலிடு (7)

எண்ணிக்கை	d_1 செ. மீ.	d_2 செ. மீ.	$\frac{M_1}{M_2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}$
1			
2			
3			

இதே வழியில் இச்சோதனையை B நிலையில் செய்து $\frac{M_1}{M_2}$ வின் மதிப்பைக் காண்க.

சோதனை 60 :—

காஸின் வழியில் **(Gauss method)** காந்தத் துருவத்தின் தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

A நிலையில் விலகுமானியிலிருந்து d_1 செ. மீ. தூரத்தில் ஒரு காந்தச் சட்டத்தை வைத்து, ஞசிகையின் திருப்பத்தை (θ_1) க் காணவும். இதே காந்தச் சட்டத்தை **B** நிலையில் இதே தூரத்தில் வைத்து ஞசிகையின் திருப்பத்தை (ϕ_1) க் கண்டு கொள்ளவும்.

A நிலையில் $\frac{2M_1}{d_1^3} = H \tan \theta_1$

B நிலையில் $\frac{M_1}{d_1^3} = H \tan \phi_1$

ஆகையால் $\frac{\tan \theta_1}{\tan \phi_1} = 2.$

$\frac{2M_1}{d_1^3} = H \tan \theta,\ \frac{M_1}{d_1^3} = H \tan \phi_1$ இச்சூத்திரங்கள் தலைகீழ்ச் சதுர விதியை அடிப்படையாகக் கொண்டு கிடைத்தவை. இச் சூத்திரங்களை உபயோகித்து $\frac{\tan \theta_1}{\tan \phi_1} = 2$ ஆக இருக்கவேண்டும். காந்தச் சட்டம் குட்டையானதால் இவ்விரண்டு உத்தேச சூத்திரங்களை உபயோகிக்கலாம். இதனால் $\frac{\tan \theta_1}{\tan \phi_1}$ என்பதின் மதிப்பு கிட்டத்தட்ட 2 க்கு சமமாக இருக்கும். இவ்விதம் இருப்பதை நிரூபித்தால் தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபித்ததாகும்.

இச்சோதனைக்கு வேண்டிய வாசகங்களை சமதூர வழியில் கிடைத்த நிரலீடுகள் (1), (4) இவைகளிலிருந்து எடுத்துக்கொண்டு $\frac{tan\ \theta_1}{tan\ \phi_1} = 2$ என்று காட்டவும். இவ்விரண்டு நிரலீடுகளிலிருந்து வேண்டிய வாசகங்களைப் பொருக்கி நிரலிடுக.

நிரலீடு (8)

முதல் காந்தச் சட்டம்

தூரம்	A நிலையில் θ_1	B நிலையில் ϕ_1	$\frac{tan\ \theta_1}{tan\ \phi_1}$
d_1			
d_2			
d_3			

இந்நிரலீட்டில் $\frac{tan\ \theta_1}{tan\ \phi_1}$ அனேகமாக 2 க்கு சமமாக இருப்பதைக் கண்டு கொள்ளவும்.

துடிப்புக் காந்தமானி
(Vibration magnetometer)

இக் காந்த மானியில் (படம் 91) மிகச் சிறிய காந்தமுள் ஒன்று கனமான ஒரு பித்தளைக் குண்டில் படுகை வாட்டத்தில் செருகப் பட்டிருக்கிறது. இப்பித்தளைக்குண்டு முறுக்கில்லாத ஒரு மெல்லிய சரட்டினுல் கட்டித் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. இதன் துடிப்பை சரியானபடியும் எளிதாகவும் அளப்பதற்கு உதவும்படி காந்த முள்ளின் கீழ் ஒரு மெல்லிய நீண்ட அலுமினிய சூசிகையொன்று காந்த முள்ளுக்கு இணையாக பித்தளைக்குண்டில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. காற்றினுல் இதன் துடிப்பு பாதிக்கப்படாதிருக்க, இப்பித்தளைக்குண்டு ஒரு கண்ணுடிக் கோப்பையில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். இதன் அண்டையிலுள்ள காந்தங்களையும், காந்தக் கவர்ச்சியுள்ள இரும்புப் பொருள்களையும் அகற்றிவிட்டு இக்காந்த மானியை உபயோகிக்க வேண்டும். இவ்விதம் தொங்கவிடப்பட்ட காந்தமானி ஆடி நிற்கும் பொழுது அதன் காந்த முள்ளின் அச்சு தென் வடக்கு திசையில் பூமியின் காந்த மண்டல ரேகையில் நிற்கும்.

ஒரு சிறிய காந்தச்சட்டத்தை அதனருகில் கொண்டுவந்து பிறகு நீக்கிவிட்டு இக்காந்தமானியை அதன் தொங்கவிடப்பட்ட செங்குத்தான அச்சைச் சுற்றித் துடிக்கச்செய்யவும். கண்ணுடிக் கோப்பையின்மேல் ஒரு அடையாளக்கோட்டை வரைந்து கொண்டு ஊசலியின் பொழுதைக் காண்பதுபோல் இக்காந்தமானித் துடிப்பின் பொழுதை (**Period of vibration**) க் காணவும். இதன் துடிப்பின்பொழுது T_0 செகண்டுகள் ஆனுல், இக்காந்தமானியின் துடிப்பு எண் (**frequency**) $n_0 = \frac{I}{T_0}$ ஆகும். தவிர இக்காந்தமானி பூமியின் காந்த மண்டலத்தில் துடிக்கிறது. படுகைத்தளத்தில் இதன் அளவு H என்ருல் காந்தமானித் துடிப்பின் பொழுது, $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}$

$$T_0^2 = \frac{4\pi^2 I}{MH}$$

இதில், ஒரு துடிப்பு காந்தமானிக்கு $\frac{4\pi^2 I}{M}$ ஒரு மாறிலி. ஆகையால்

$$T_0^2 = \frac{I}{n_0^2} \propto \frac{I}{H}$$

அல்லது $H = Kn_0^2$

ஒரு காந்தச் சட்டத்தை உபயோகித்து இக்காந்தமானியின் காந்த ஊசியின் மையத்தில் படுகைத்தளத்தில் பூமியின் காந்தத் துருவ ரேகையில் தொழிற்படும்படி மற்றொரு காந்த மண்டலத்தை (F_1) உண்டாக்கினால், காந்த ஊசி மையத்தில் மொத்த காந்த மண்டல வலிமை $F_1 + H$ ஆகும். இப்பொழுது காந்தமானியின் துடிப்பு எண் n_1 ஆனால்

$$F_1 + H = Kn_1^2 \text{ ஆகும்.}$$

$$H = Kn_0^2$$

$$\frac{F_1}{H} + 1 = \frac{n_1^2}{n_0^2}$$

$$\frac{F_1}{H} = \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_0^2}$$

$$F_1 = \frac{H\,(n_1^2 - n_0^2)}{n_0^2} \text{ ஆகும்.}$$

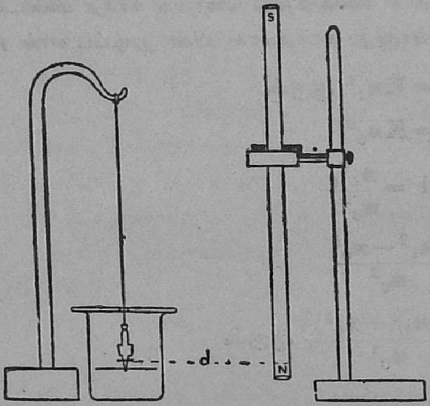
சோதனை 61 :—

துடிப்புக் காந்த மானியுடன் ஒரு நீண்ட காந்தச் சட்டத்தை உபயோகித்து தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபிக்கவும்.

கண்ணாடிக் கோப்பை ஒன்றில் துடிப்புக் காந்தமானியைத் தொங்கவிட்டு அது நிலையாக இருக்கும்பொழுது அதன் சூசிகையின் முனையை கண்ணாடிக் கோப்பையின்மேல் ஒரு சாக்கட்டிக் கோட்டினால் குறித்துக் கொள்ளவும். இதனருகில் உள்ள மற்ற காந்தச் சட்டங்களை தூர விலக்கி விட்டு இதை அதன் செங்குத்தான அச்சை சுற்றி துடிக்கச் செய்யவும். இஷ்டப்படி ஓட்டி நிறுத்தக்கூடிய ஒரு கடிகாரத்தை உபயோகித்து இக் காந்தமானியின் 50 துடிப்புகளின் நேரத்தைக் காணவும். இதிலிருந்து இதன் துடிப்பின் பொழுதை (Period T) கணக்கிடவும். பொழுது செகண்டுகளில் இருந்தால் ஒரு செகண்டிற்கு இதன் துடிப்பு எண் $\frac{I}{T}$ ஆகும். ஒரு நிமிஷத்திற்கு இதன் துடிப்பு எண் n_0ஐக் கணக்கிடவும்.

இக்கருவியின் காந்தமுள்ளின் மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் பூமி காந்த மண்டல ரேகையில் இதற்கு தெற்கில் ஒரு நீண்ட காந்தச் சட்டத்தை செங்குத்தாக ஒரு மரச் சட்டக் கவ்வியில் பிடித்து நிறுத்தவும். இக்காந்தச் சட்டத்தின் வடதுருவம் கீழ் நோக்கி காந்த முள்ளின் தளத்தில் இருக்கவேண்டும். (படம் 91) காந்த முள்ளின் மையத்திற்கும்

காந்தச் சட்டத்தின் வடதுருவத்திற்கும் உள்ள தூரத்தை (d_1) அளவிடவும். இத்தூரம் 7 அல்லது 8 செ. மீட்டர்கள் இருக்கலாம். இப்பொழுது காந்தமானியைத் துடிக்கச்செய்து முன்போல் இதன் பொழு



படம் 91

தையும் ஒரு நிமிஷத்தில் இதன் துடிப்பு எண் n_1ஐயும் காண்க. காந்த முள்ளின் மையத்திலிருந்து காந்தச் சட்டத்தின் தூரத்தை d_2, d_3...... என்று மாற்றி முறையே ஒவ்வொரு தடவையும் காந்த மானியின் துடிப்பு எண்கள் n_2, n_3......இவற்றைக் காணவும். பூமியின் படுக்கைப்புலத்தை ' H ' எனக்கொண்டால்,

$$H = Kn_0^2$$

$$F_1 + H = Kn_1^2$$

$$F_1 = \frac{H\,(n_1^2 - n_0^2)}{n_0^2}$$

தலைகீழ்ச் சதுர விதிப்படி $F_1 = \frac{m}{d_1^2}$ இங்கு ' m ' என்பது காந்தச் சட்ட துருவத்தின் வலிமையாகும். ஆகையால்

$$\frac{m}{d_1^2} = \frac{H(n_1^2 - n_0^2)}{n_0^2}. \quad m = \frac{H}{n_0^2}\; d_1^2\,(n_1^2 - n_0^2)$$

ஒரு காந்தச் சட்டத்திற்கு ' m ' மாறிலியாகும், தவிர ஓரிடத்தில் $\frac{H}{n_0^2}$ஒரு மாறிலி. ஆகையால் $d_1^2\,(n_1^2 - n_0^2)$ ஒரு மாறிலியாகும். இதைக் கணக்கிட்டு இது மாறிலியாயிருப்பதை நிரூபிக்கவும். இவ்விதம் நிரூபிப்பது தலைகீழ்ச் சதுர விதியை நிரூபித்ததாகும். இதே விதம் $d_2^2(n_2^2 - n_0^2)$, $d_3^2\,(n_3^2 - n_0^2)$ இவற்றை கணக்கிட்டு நிரலீடு செய்க.

நிரலிடு :—

எண்ணிக்கை	காந்தமுள் மையத்திலிருந்து காந்தச் சட்ட வடதுருவத்தின் தூரம் d செ. மீ.	50 துடிப்புகளின் நேரம் செகண்டுகள்			துடிப்பின் பொழுது T	நிமிஷத்தில் துடிப்பு எண் n	$d_1^2(n_1^2-n_0^2)$
		1	2	இடை மதிப்பு நேரம்			
1	∝ தொலையில்				T_0	n_0	
2	d_1				T_1	n_1	$d_1^2(n_1^2-n_0^2)$
3	d_2				T_2	n_2	$d_2^2(n_2^2-n_0^2)$
4	d_3				T_3	n_3	$d_3^2(n_3^2-n_0^2)$

$d_1^2 (n_1^2 - n_0^2)$, $d_2^2 (n_2^2 - n_0^2)$, $d_3^2 (n_3^2 - n_0^2)$ இவை ஒரே மதிப்பைக் கொண்டவை. இவற்றின் இடை மதிப்பைக் காண்க.

$$m = \frac{H}{n_0^2} \times d_1^2 (n_1^2 - n_0^2)$$

இச்சமன்பாட்டில், பூமியின் படுகை புலத்தை $H = \cdot 38$ என வைத்துக்கொண்டு காந்தச் சட்டத்தின் துருவவலிமையைக் கணக்கிட்டுக் காணவும்.

மின்சாரவியல்
(Electricity)

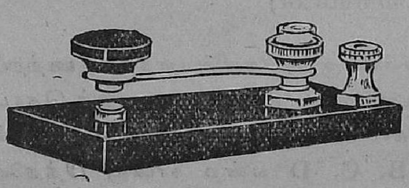
மின்சாரவியல் சோதனைகளில் உபயோகப்படும் சில சாதனங்களின் விபரம்.

(1) இணைப்புக்கம்பிகள் :—

மின்சாரக் கருவிகளை மொத்தமான செப்புக் கம்பிகளால் இணைக்க வேண்டும். இக்கம்பிகளின்மேல் நெருக்கமாக நூல் சுற்றப்பட்டிருக்கும். இதனால் இக்கம்பிகள் ஒன்றோடொன்று தொட்டுக்கொண்டிருந்தாலும் மின்சாரம் இவ்விடங்களில் ஒன்றிலிருந்து மற்றொரு கம்பிக்கு குறுக்காக ஓடாது. இவ்விதக் கம்பிகளுக்கு காப்பிட்ட கம்பிகள் (**insulated wires**) எனப்பெயர். இக்கம்பிகளின் மின்தடை அல்லது தகைவு (**Resistance**) மிகமிகக் குறைவு. இக் கம்பித்துண்டுகளை மின்சார சுற்றில் (**electric circuit**) உபயோகிக்கும்பொழுது இவற்றின் முனைகளில் அரை அங்குலத்திற்கு இந்நூலை அகற்றிவிட்டு உலோகப் பாகத்தைக்கொண்டு கருவிகளை இணைக்கவேண்டும்.

(2) தட்டுச்சாவி (Tap Key)

இதன் அமைப்பை (படம் 92) படத்தில் பார்க்கவும். ஒரு மின்சார சுற்றில் இதை தொடர் அடுக்காக இணைத்தால் (**Series Connection**) இச் சுற்றில் (**circuit**) வேண்டிய போது மின்சார ஓட்டத்தை உண்டாக்கவும், நிறுத்தவும் முடியும். மேலே உள்ள உலோகத் தட்டை தட்டி அழுத்தி கீழுள்ள உலோகக் கட்டையை தொடும்படி செய்தால் மின்சாரச் சுற்று பூர்த்தியாகும். கையை எடுத்துவிட்டால் மின்சாரச் சுற்று தானே கத்தரித்துக்கொள்ளும்.

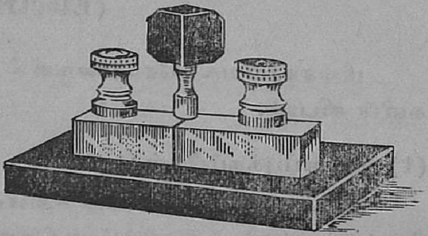


படம் 92

(3) முளைச்சாவி (Plug Key)

இதன் அமைப்பைப் படத்தில் பார்க்கவும் (படம் 93). நெடுநேரம் ஒரு மின்சாரச் சுற்றில் மின்சார ஓட்டம் வேண்டி இருந்தால் முளைச்சாவி

மிகவும் பயன்படுகிறது. இதில் பித்தளைப் பிடிப்புத் திருகுடன் (binding screws) கூடின இரண்டு பித்தளைக்கட்டைகள் ஒரு எபொனைட் கட்டை மீது பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இவ்விருகட்டைகளுக்கிடையே கூருருளை வடிவப் பிளப்பொன்று உள்ளது. இதில் ஒரு பித்தளை முளையைச் செருகி மின்சாரச் சுற்றைப் பூர்த்திசெய்து மின் ஓட்டத்தை உண்டாக்கலாம். இம்முளையை வெளியில் எடுத்தால் மின் ஓட்டம் நின்றுவிடும்.



படம் 93

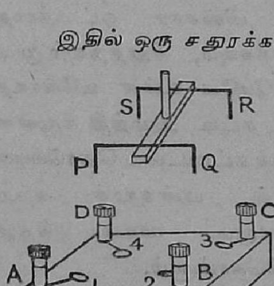
(4) திசைமாற்றி (Commutator)

சில சோதனைகளில் மின்சாரச் சுற்றின் ஏதாவது ஒரு பாகத்தில் மின் ஓட்டத்தின் திசையை மாற்றவேண்டியது அவசியமாக இருக்கும்.

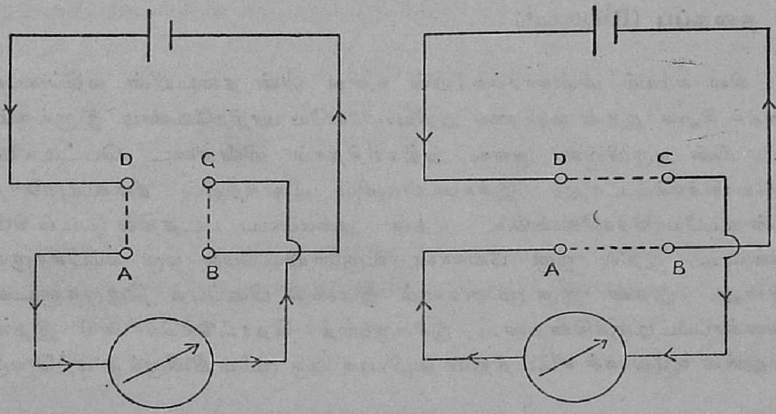
மற்ற பாகங்களில் இத்திசை எவ்வித மாறுதலையும் அடையக் கூடாது. இவ்விதத் திசை மாற்றத்தை உண்டாக்க இக்கருவி உபயோகப்படுகிறது.

பாதரச திசைமாற்றி (Mercury Commutator)

இதில் ஒரு சதுரக்கட்டையில் நான்கு குழிகளில் பாதரசம் ஊற்றப்பட்டிருக்கும். இப்பாதரசத்தைத் தொட்டுக்கொண்டு இருக்கும்படி இக்கட்டையில் A, B, C, D என்ற நான்கு பித்தளை பிடிப்புத் திருகுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. ப வடிவத்தில் PQ, RS என்ற (படம் 94-A) இரண்டு தடித்த செப்புக் கம்பிகளைக்கொண்ட கைப்பிடியை உபயோகித்து இப்பாதரச தொட்டிகளை ஜோடி ஜோடியாக இணைக்கலாம். படம் 94 (b)ல் காட்டிய விதம் பாதரசத் தொட்டிகள்



(படம் 94-A)

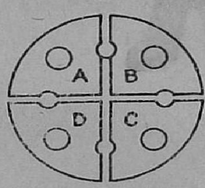


(படம் 94—B)

AD, BC இவற்றை இணைத்தும், **A B, C D** இவற்றை இணைத்தும் மின் சார ஓட்டத்தின் திசையை மாற்றலாம்.

முளைச்சாவித் திசை மாற்றி (Plug Commutator)

இதன் அமைப்பை (படம் 95) படத்தில் பார்க்கவும். இதில் நான்கு பித்தளைக் கட்டைகள் ஒன்றையொன்று தொடாமல் ஒரு எபொனைட் பலகையில் பொருத்தப்பட்டிருக் கின்றன. இக்கட்டைகளுக்கிடையே உள்ள கூருருளை பிளப்புகளில் பித்தளை முளைகளைச் செருகி மின்சார ஓட்டத்தின் திசையை மாற்றலாம்.



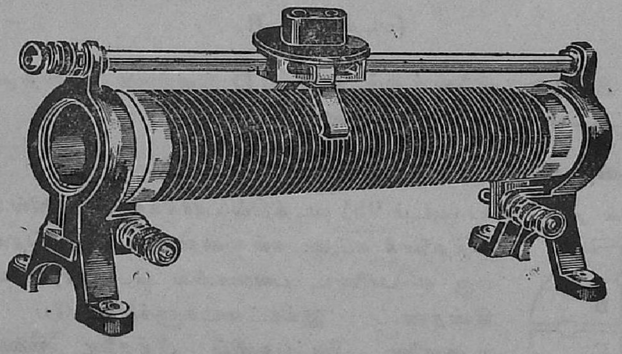
படம் 95

(5) மின்தடை (Resistance)

மின்சார அருவியின் அளவை மாற்ற மின்சாரச்சுற்றில் மின் தடைகளை இணைத்துக்கொள்ளவேண்டும். மின்தடையின் மதிப்பை அதிகப் படுத்தி மின் அருவியின் அளவைக் குறைக்கலாம். வேண்டிய அளவுக்கு தெரிந்த மின் தடையை உபயோகிக்க மின்தடைப்பெட்டி (**Resistance box**)ஐ உபயோகிக்கவேண்டும். இதில் பல மதிப்புள்ள மின் தடைகள் தொடர் அடுக்காகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றை முளை சாவிகளைக்கொண்டு மின் சுற்றிலிருந்து எடுத்துவிடலாம். முளைச்சாவி களை பிடுங்கி வேண்டிய தெரிந்த அளவுக்கு மின்தடையை உபயோகிக்க லாம்.

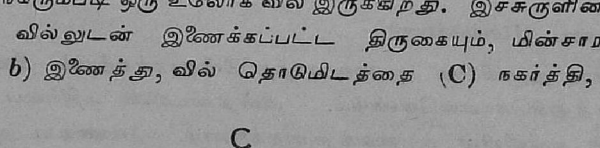
(6) தகைப்பு (Rheostat)

சில சமயம் மின்சாரச்சுற்றில் உள்ள மின் தடையின் மதிப்பைச் சிறுகச் சிறுக அதன் மதிப்பை அறியாமலேயே மாற்றவேண்டி இருக்கும். தவிர மின் அருவியின் அளவு அதிகரித்தால் மின்தடை பெட்டிகளை உபயோகிக்கக்கூடாது. இச்சமயங்களில் மின்சுற்றில் தகைப்புகளைத் தான் உபயோகிக்கவேண்டும். இதன் அமைப்பை படத்தில் (படம் 96) காணவும். இதில் ஒரு பீங்கான் உருளையின்மேல் ஒரு கம்பிச்சுருள் உள்ளது. இதன் இரு முனைகளும் இரண்டு பிடிப்புத் திருகுகளுடன் பிணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இச்சுருளைத் தொட்டுக்கொண்டு இதன் மேலுள்ள உலோகச் சட்டத்தின் வழியாக ஒரு முனையிலிருந்து மற்றொரு



படம் 96 (*a*)

முனைக்கு நகரும்படி ஒரு உலோக வில் இருக்கிறது. இச்சுருளின் **A**ஐயும்; **B** என்ற வில்லுடன் இணைக்கப்பட்ட திருகையும், மின்சாரச்சுற்றில் (படம் 96 *b*) இணைத்து, வில் தொடுமிடத்தை (**C**) நகர்த்தி, சுருளின்



படம் 96 (*b*)

பாகம் **AC**ன் மின்தடை மதிப்பை மாற்றி அமைக்கலாம்.

(7) ஆம்பியர் மானி (Ammeter)

இக்கருவியினால் மின் அருவியின் மதிப்பை நேரிடையாக வாசித்துத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இக்கருவியை ஒரு மின்சாரச் சுற்றில் தொடர் அடுக்காக (Series) இணைக்கவேண்டும்.

(8) வோல்டு மானி (Volt meter)

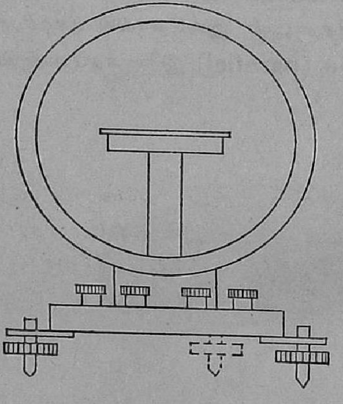
இக்கருவியினால் மின்சாரச் சுற்றில் ஏதாவது இரண்டு புள்ளிகளுக் கிடையே உள்ள நிலைப்பு வீழ்ச்சியை (Potential difference) வாசித்துக் கண்டு கொள்ளலாம். இவ்விரு புள்ளிகளுடன் இவ்வோல்டு மானியை இணை வகுப்பாக அல்லது பக்க அடுக்காக (parellel) இணைக்கவேண்டும்.

பரிச மின்னேட்டமானி

(Tangent galvanometer)

பரிச மின்னேட்ட மானியின் அமைப்பு

இக்கருவியில் ஒரு வட்டமான மரச்சட்டகம் படுகைத்தளத்திலுள்ள ஒரு பீடத்தில் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இச் சட்டகத்தில் மூன்று கம்பிச் சுருள்கள் சுற்றப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றின் முனைகள் தனித்தனிப் பிடிப்புத் திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம் 97). சாதாரணமாக உபயோகப்படும் கருவிகளில் இச்சுருள்களிலுள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை (**number of turns**) முறையே 2, 50, 500 ஆக விருக்கும். இவ்வெண்ணிக்கைகள் பிடிப்புத்திருகுகளினிடையில் குறிக்கப்பட்டிருக்கும். இம்மரச்சட்டகம் அதன் மையம் வழியாகச் செல்லும் ஒரு செங்குத்தான அச்சைச் சுற்றி தன் வயமாகச் சுழலும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன் மையத்தில் படுகைத்தளத்தில் ஒரு விலகு காந்தமானிப்பெட்டி ஏற்றி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 97

சோதனைக்கு இதை சீர்படுத்தி வைக்கும் முறை

பீடத்தின் திருகுகளைத் திருகி, பீடத்தை படுகைத்தளத்தில் இருக்கும்படிச் செய்யவும். இது படுகைத்தளத்திலிருப்பதை அதன் மேல் ரசமட்டமொன்றை வைத்து அறியலாம். இப்பொழுது வட்டமான மரச்சட்டகம் செங்குத்தாக இருக்கும். இச்சட்டகத்தைத் திருப்பி இதன் தளம் காந்தமானியின் காந்தமுள்ளின் திசையில் இருக்கும்படி செய்யவும். இச்சட்டத்தின் தளம், இப்பொழுது பூமியின் காந்த மண்டல ரேகையில் இருக்கும்படி வைக்கப்பட்டதாகும். இதன் நிலை மாருமல்

விலகு கார்ந்தமானியைத் திருப்பி அதன் சூசிகையின் முனைகள் 0 — 0 வாசகங்களைக் குறிக்கச்செய்யவும்.

இம்மின்னோட்டமானியின் தத்துவம்

இரண்டு சுற்றுக்கள் கொண்ட சுருளில் c ஆம்பியர் மின் அருவியை ஓடச்செய்யவும். இம்மின்னோட்டத்தால் இச்சுருளின் மையத்தில் அதன் தளத்திற்கு லம்பகமாக கிழக்கு மேற்காக ஒரு காந்தப்புலம் (magnetic field) உண்டாகிறது. இப்புலத்தின் அளவு மின் அருவியின் அளவு (c), கம்பிச்சுருள் ஆரம் (r), இச்சுருளிலுள்ள வளையங்களின் எண்ணிக்கை (n), இவற்றைப் பொருத்தது. இப்புலத்தை F எனக் குறித்தால்

$$F = \frac{2\pi nc}{10r}$$

இது தவிர, இச்சுருளின் மையத்தில் பூமியின் காந்தபுலம் H படுகைத் தளத்தில் காந்த மண்டல ரேகையில் தெற்கு வடக்காக தொழிற்படுகிறது. அதன் மையத்திலுள்ள காந்தமுள் இவ்விரு காந்தப் புலன்களால் பாதிக்கப்பட்டு இவற்றின் பயனிலைத் திசையில் திரும்பும். இவ்விதம் இது திரும்பும் கோணம் θ என்றால்,

$$\frac{F}{H} = \tan\theta$$

அல்லது $F = H\tan\theta$ அல்லது $\frac{2\pi nc}{10r} = H\tan\theta$

$$c = \frac{10rH}{2\pi n} \times \tan\theta$$

குறித்த கம்பிச்சுருளை உபயோகிக்கும்பொழுது $\frac{10rH}{2\pi n}$ ஒரு மாறிலியாகும்.

அதனால் $c = K\tan\theta$

$\tan\theta$ வை இம்மாறிலி K யால் பெருக்கிவரும் தொகையே மின் அருவியின் அளவாகும். இம்மாறிலி மின்னோட்டமானியின் பெருக்கக் குணியம் அல்லது சுருக்கக்காரணி (reduction factor) எனப்படும்.

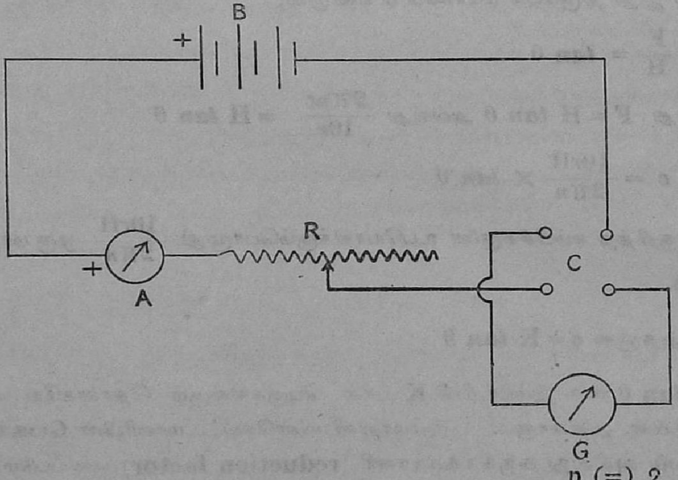
மின்னோட்டமானி திசைமுள்ளின் விலக்க வாசகங்களில் இரண்டு காரணங்களால் பிழை ஏற்படக்கூடும்.

(1) திசைமுள்ளின் சுழல் அச்சு, வட்டமான அளவியின் மைய்த்தில் இல்லாமல் இருக்கலாம். இதனுல் உண்டாகும் பிழையை நீக்க சூசிகை யின் இருமுனைகளின் வாசகங்களைக்கண்டு இவற்றின் இடை மதிப்பை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

(2) திசைமுள்ளின் அச்சு செங்குத்தாக இருக்கும் கம்பிச்சுருளின் தளத்தில் இருக்கும்படி சரியானபடி அமைக்கப்படாவிட்டால் வாசகங் களில் பிழை எற்படும். இதைத் திருத்தம் செய்ய முதலில் இம் மின்னேட்டமானியில் ஒரு திசையில் மின் அருவியை ஓடச் செய்து சூசிகையின் வாசகங்களைக் குறித்துக்கொண்டு பிறகு இதில் மின் அருவியின் திசையை மாற்றி மறுபடியும் கிடைக்கும் சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களைக் காணவும். இவ்விதம் கிடைத்த நான்கு வாசகங்களின் இடை மதிப்பைக்கண்டு உபயோகிக்கவேண்டும்.

சோதனை 62 :—

பரிச மின்னேட்டமானியின் இரண்டு சுற்றுக் கம்பிச்சுருளின் பெருக்க துணியத்தைக் காண்க.



n (=) 2

படம் 98

இச்சோதனைக்கு வேண்டிய கருவிகள் :—

2 அல்லது 3 எடிசன் சேமங்கள் (**Edison accumulators**), ஒரு ஆம்பியர்மானி (**ammeter**), ஒரு தகைப்பு (**Rheostat**), ஒரு பாதரசத் திசை மாற்றி (**mercury commutator**), ஒரு பரிச மின்னேட்டமானி.

இக்கருவிகளை தொடர் வகுப்பில் (Series) படத்தில் (படம் 98) காட்டிய விதம் காப்பிட்ட கம்பித் துண்டுகளைக்கொண்டு இணைக்கவும். பரிசமின்னேட்டமானியை (G) சோதனைக்கு ஏற்ப சீர்படுத்தி வைக்கவும். திசை மாற்றியின் (C) மூடியை மூடி ஆம்பியர்மானியின் வாசகத்தைப் பார்க்கவும். தகைப்பின் (R) மதிப்பை மாற்றி மின்சாரச்சுற்றில் சரியாக ஒரு ஆம்பியர் மின் அருவி ஓடச் செய்யவும். மின்னேட்டமானி சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களைக் கண்டு (θ_1,θ_2) குறித்துக்கொள்ளவும். திசை மாற்றியின் மூடியை எடுத்துத் திருப்பி மறுபடியும் மூடி, மின் அருவித் திசையை மாற்றி சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களை (θ_3, θ_4)க் காண்க. இந்நான்கு வாசகங்களின் இடை மதிப்பு θ வைக் கணக்கிடுக. இதேவிதம் மின்சாரச் சுற்றில் ஓடும் மின் அருவியின் மதிப்பை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் சூசிகையின் வாசகங்களைக் கண்டு நிரலிடுக. மின் அருவி C ஆம்பியர் என்றும் சூசிகையின் இடை மதிப்பு விலக்கம் θ என்றும் வைத்துக்கொண்டால் பரிச மின்னேட்டமானியின் பெருக்கக்குணியம்.

$$K = \frac{C}{\tan\theta}$$

இதைக் கணக்கிட்டுக் கொள்க. வாசகங்களை கீழ் கொடுத்தவிதம் நிரலிடுக.

நிரலிடு :—

எண்ணிக்கை	மின் அருவியின் அளவு C ஆம்பியர்	சூசிகை விலக்கம் டிகிரிகள்				இடை மதிப்பு விலக்கம் θ°	$\tan\theta$	$K = \frac{C}{\tan\theta}$
		மின் அருவி,						
		ஒரு திசையில்		எதிர் திசையில்				
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4			
1	1·0							
2	1·5							
3	2·0							

K யின் இடை மதிப்பைக் காண்க.

ஓமின் விதி
(Ohm's law)

ஒரு கடத்தியின் (conductor) உஷ்ணநிலை மாறாதிருக்க அதன் முனைகளுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமைக்கும் (Potential difference), அதில் ஓடும் மின் அருவிக்கும் (Current) உள்ள தகவு ஒரு மாறிலியாயிருக்கும். இதுவே ஓமின் விதி.

நிலைப்பு வேற்றுமை ஐ (Potential difference) E என்றும், அதில் ஓடும் மின் அருவியை (current) C என்றும் குறித்தால் $\frac{E}{C}$ ஒரு மாறிலி. இம்மாறிலியே இக்கடத்தியின் மின்தடை (Resistance) எனப்படும். நிலைப்பு வேற்றுமை E ஒரு வோல்டாகவும், (Volt), மின் அருவி C ஒரு ஆம்பியராகவும் (ampere) இருந்தால் இக்கடத்தியின் மின்தடை ஒரு ஓம் (Ohm) ஆகும். ஓமின் விதிப்படி ஒரு கடத்தியின் மின்தடை $\frac{E}{C} = R$.

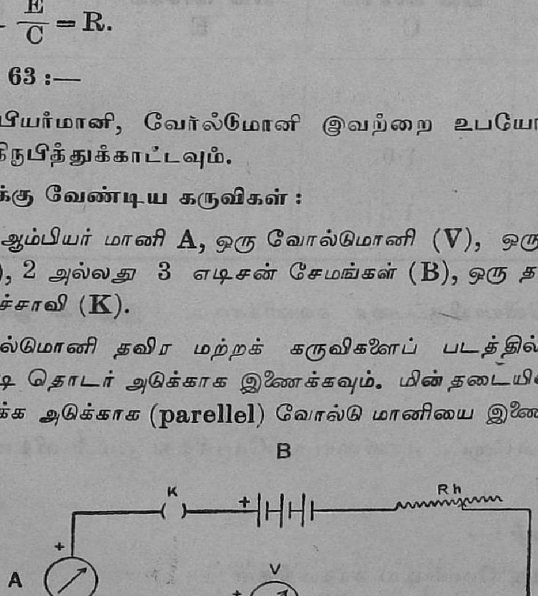
சோதனை 63 :—

ஆம்பியர்மானி, வோல்டுமானி இவற்றை உபயோகித்து ஓமின் விதியை நிரூபித்துக்காட்டவும்.

சோதனைக்கு வேண்டிய கருவிகள் :

ஒரு ஆம்பியர் மானி A, ஒரு வோல்டுமானி (V), ஒரு மின்தடைச் சுருள் (R), 2 அல்லது 3 எடிசன் சேமங்கள் (B), ஒரு தகைப்பு (Rh), ஒரு முனைச்சாவி (K).

வோல்டுமானி தவிர மற்றக் கருவிகளைப் படத்தில் (படம் 99) காட்டியபடி தொடர் அடுக்காக இணைக்கவும். மின்தடையின் இருமுனைகளுக்கு பக்க அடுக்காக (parellel) வோல்டு மானியை இணைக்கவும்.



படம் 99

முளைச்சாவியின் முளையைச் சொருகி, தகைப்பின் அளவை மாற்றி மின்சாரச் சுற்றில் ஒரு ஆம்பியர் மின் அருவியை ஓடச் செய்யவும். வோல்டுமானியின் வாசகத்தைக் கண்டு (E) குறித்துக்கொள்க. இப்பொழுது கடத்தி R-ன் வழி செல்லும் மின் அருவியை C ஆம்பியர் என்றும், கடத்தி AB-யின் முனைகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமையை E வோல்டுகள் (வோல்டு மானியின் வாசகம்) என்றும் கொண்டால் கடத்தியின் மின் தடை $\frac{E}{C} = R$ ஓம்களாகும். இது இக்கடத்திக்கு ஒரு மாறிலி. ஆம்பியர் மானியின் வாசகத்தை ·5, 1·0, 1·5 ஆம்பியர்களுக்கு மாற்றி, முறையே வோல்டுமானியின் வாசகங்களைக் கண்டு நிரலீடு செய்க.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	ஆம்பியர் மானியின் வாசகம் C	வோல்டு மானியின் வாசகம் E	$\frac{E}{C}$
1	·5		
2	1·0		
3	1·5		

$\frac{E}{C}$ மாறிலியாயிருப்பதை கவனிக்கவும். இதுவே ஓமின் விதியாகும்.

சோதனை 64 :—

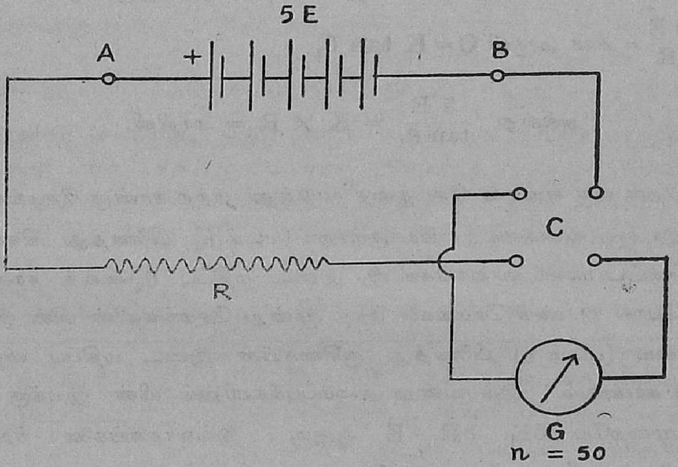
பரிச மின்னோட்ட மானியை உபயோகித்து ஓமின் விதியை நிரூபித்துக் காட்டுக.

(a) முதல் வழி :—

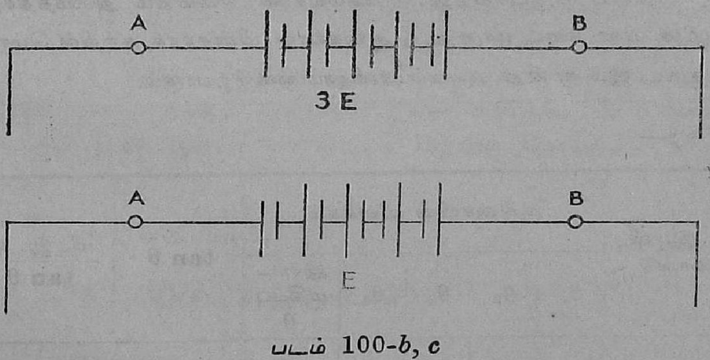
சோதனைக்கு வேண்டிய சாதனங்கள் :—

ஐந்து எடிசன் சேமங்கள், 100 ஓம் மின் தடையொன்று (R) ஒரு பரிச மின்னோட்டமானி (G), ஒரு பாதரச திசை மாற்றி (C).

ஐந்து எடிசன் சேமங்களை தொடர் அடுக்காக இணைத்து இதை மின் தடையுடனும், திசை மாற்றி வழியாக பரிச மின்னோட்ட மானியின் 50 சுற்று சுருளுடனும் தொடர் அடுக்காக இணைக்கவும். (படம் 100-*a*).



படம் 100-*a*



படம் 100-*b*, *c*

பரிச மின்னோட்ட மானியைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். திசை மாற்றி மூடியை அதன் மேல் மூடி மின்னோட்ட மானி சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களைக் கண்டு குறித்துக்கொள்ளவும். மின் அருவியின் திசையை மாற்றி மறுபடியும் இவ்வாசகங்களைக் கண்டு இவற்றின் இடை மதிப்பு θ_1-ஐக் காணவும். ஒவ்வொரு எடிசன் சேமத்தின் மின் இயக்கு

விசை (E. M. F.) E என்றால் ஐந்து சேமங்களின் தொடர் அடுக்கின் மின் இயக்கு விசை 5 E ஆகும்.

மின்சாரச் சுற்றில் மொத்த மின் தடை R ஓம் ஆனால் ஓமின் விதிப்படி $\frac{5\,E}{R}$ = மின் அருவி $C = K \tan\theta_1$

$$\text{அல்லது}\quad \frac{5\,E}{\tan\theta_1} = K \times R = \text{மாறிலி}.$$

பிறகு ஒரு எடிசன் சேமத்தை எடுத்து மற்ற நான்கு சேமங்களின் மின் இயக்கு விசையை எதிர்க்குமாறு (படம் b) பிணைத்து கிடைத்த மின்னோட்ட மானி வாசகங்களின் இடை மதிப்பு θ_2-வைக் காணவும். இதேபோல் இரண்டு சேமங்கள் மற்ற மூன்று சேமங்களின் மின் இயக்கு விசையை (படம் c) பிணைத்து ஊசிகையின் இடை மதிப்பு விலக்கம் θ_3-ஐக் காணவும். இம் மூன்று அமைப்புக்களிலும் மின் இயக்கு விசைகள் முறையே 5E, 3E, E ஆகும். இவ்வாசகங்களை நிரலிட்டு $\frac{\text{மின் இயக்கு விசை}}{\tan\theta}$ ஒரு மாறிலி என நிரூபித்துக் காட்டவும். இது ஓமின் விதியை நிரூபிக்கிறது. சேமங்களை எவ்விதம் அமைத்தாலும் அவற்றின் மின் தடை மாறாது. ஆகையால் மின்சாரச் சுற்றில் மொத்த மின் தடை இம் மூன்று அமைப்புகளிலும் ஒன்றேயாகும்.

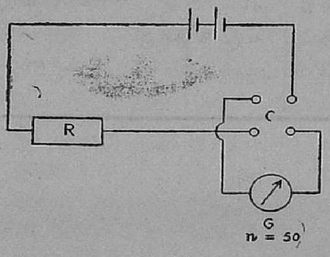
நிரலீடு :—

மி. இ. வி. வோல்டு	ஊசிகையின் விலக்கம்					tan θ	$\frac{\text{மி. இ. வி}}{\tan\theta}$
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	இடை மதிப்பு θ		
5 E							
3 E							
E							

இதில் $\frac{5E}{\tan\theta_1} = \frac{3E}{\tan\theta_2} = \frac{E}{\tan\theta_3}$ என நிரூபிக்க வேண்டும். **E**-யின் மதிப்பு மாறிலியாதலால் $\frac{5}{\tan\theta_1} = \frac{3}{\tan\theta_2} = \frac{1}{\tan\theta_1}$ என நிரூபித்தால் போதும்.

(*b*) ஓமின் விதியை நிருபிக்க மற்றொரு வழி :—

இரண்டு சேமங்கள், ஒரு மின் தடைப்பெட்டி, திசை மாற்றியின் மூலம் ஒரு பரிச மின்னோட்டமானி இவற்றை தொடர் அடுக்காக பிணைத்து மின்னோட்ட மானியைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். (படம் 101). இச்சோதனையில் மின்னோட்ட மானியின் 50 சுற்றுக்கள்கொண்ட சுருளை மின்சார சுற்றில் இணைக்கவேண்டும். இச்சுருளின் மின் தடை சுமார் ஒரு ஓம் ஆகும். மின் தடைப் பெட்டியில் $R_1 = 50$ ஓம் தடையை வைத்து மின்னோட்ட மானியின் இடை மதிப்பு வாசகம் θ_1-ஐக் காணவும். பிறகு மின்சாரச் சுற்றில் உள்ள மின் தடையின் மதிப்பை $R_2 = 70, R_3 = 90, R_4 = 110,$ $R_5 = 130$ ஆக அதிகப்படுத்தி முறையே $\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$ என்ற இடை மதிப்பு விலக்கங்களைக் கண்டு நிரலிடுக. மின்னோட்டமானி, சேமங்கள் இவற்றின் மின் தடை மிகவும் குறைவு. இதன் மதிப்பை '*X*' என்றும் சேமங்களின் மின் இயக்க விசையை **E** என்றும் கொண்டால் ஓமின் விதிப்படி



படம் 101

$$\frac{E}{R_1+X} = C = K\, tan\ \theta_1$$

$$\frac{E}{K} = (R_1+X)\, tan\ \theta,$$ இதேபோல்

$$\frac{E}{K} = (R_2+X)\, tan\ \theta_2$$

$$\frac{E}{K} = (R_3+X)\, tan\ \theta_3$$ ஆகும்.

இதனால் $(R+X)\ tan\ \theta$ ஒரு மாறிலி எனத் தெரிகிறது. **X** மிகக் குறைவாதலால் இதைப் புறக்கணித்தும் விடலாம். இல்லையேல்

$(R_1 + X)\ tan\ \theta_1 = (R_2 + X)\ tan\ \theta_2$ என்ற சமன் பாட்டிலிருந்து X ன் மதிப்பைக்கண்டு உபயோகிக்கலாம். Xன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்க.

நிரலீடு :—

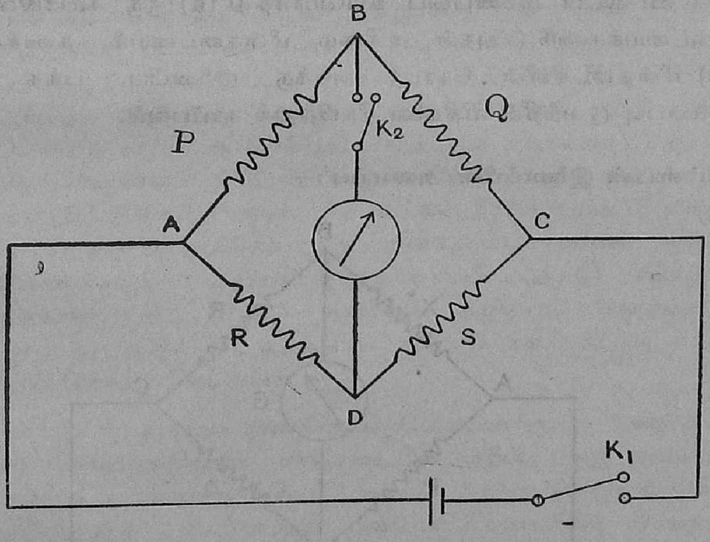
மின் தடை R ஓம்	மின்ஞேட்டமானியின் வாசகங்கள்					tan θ	(R + X) tan θ
	θ_1	θ_2	3	θ_4	இடை மதிப்பு θ		

வீட்ஸ்டன் இணைப்பினுல் மின் தடையை காணும் முறை

(Resistance by Wheatstone Bridge)

வீட்ஸ்டன் வலையின் தத்துவம் :—

இவ்வலையின் அமைப்பைப் படத்தில் (படம் 102) காணவும். இது **P,Q,R,S** என்ற நான்கு மின் தடைகளைக்கொண்டு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. **P,Q** இவ்விரண்டும் தொடர்பு அடுக்கமாக உள்ளன. இதேபோல் **R,S** இவ்விரண்டும் தொடர்பு அடுக்கமாக இணைக்கப்பட்டு உள்ளன. இவ்விரண்டு ஜோடிகளும் பக்க அடுக்கத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. **A, C** என்ற புள்ளிகளுடன் ஒரு மின்கலம் பிணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 102

B,D என்ற புள்ளிகள் ஒரு நுட்பமான மின்னோட்டமானியின் வழியாக சேர்க்கப்பட்டிருக்கின்றன. K_1 என்பது மின்கலச்சுற்றில் (**battery circuit**) உள்ள ஒரு தட்டுச்சாவி. இச்சாவியைத்தட்டி அமுக்கினுல் **P, Q, R, S** என்ற மின் தடைகளில் மின்னோட்டம் ஏற்படும். **B,D**

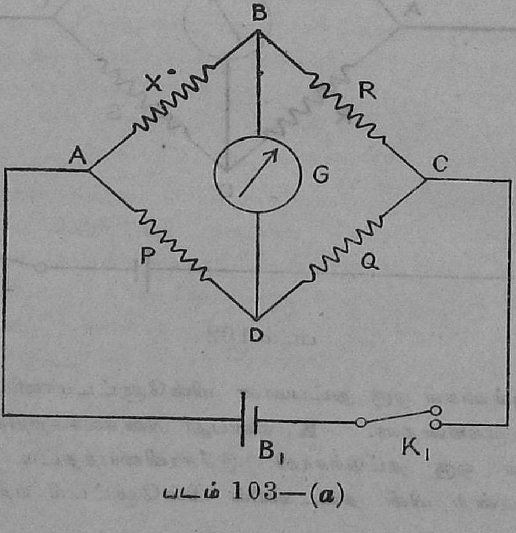
என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே நிலைப்பு வேற்றுமை இருந்தால் மின்னோட்ட மானி வழியாக ஒரு மின் அருவி ஓடி அதில் சூசிகை விலக்கத்தைக் கொடுக்கும். இதிலுள்ள மின் தடைகளை மாற்றி மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் ஏற்படாமல் செய்யலாம். அப்போது **BD** என்ற கிளையில் மின் அருவி ஓடாது. அதாவது **B,D** என்ற புள்ளிகள் ஒரே நிலைப்பில் (**Potential**) இருக்கவேண்டும். இவ்விதம் இருந்தால் $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$ ஆகும்.

P, Q, R, S என்ற நான்கு மின்தடைகளில் ஏதாவது மூன்று தெரிந்தால் நான்காவது மின்தடையைக் கணக்கிட்டுக் காணலாம். இத் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக்கொண்ட இரண்டு கருவிகள் உள்ளன. அவற்றின் அமைப்பை கீழ்வரும் சோதனைகளில் காணலாம்.

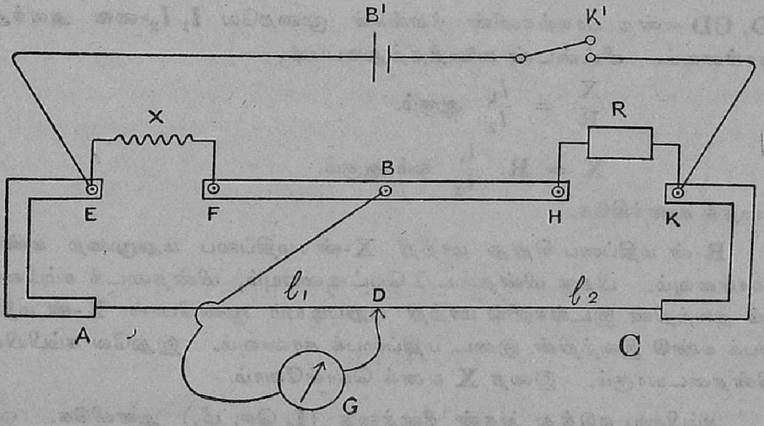
சோதனை 65 :—

வீட்ஸ்டன் இணைப்பை உபயோகித்து (a) ஒரு கம்பியின் மின் தடையைக்கண்டு அதன் உரிமை மின்தடையைக் கணக்கிடவும். (b) மின்தடைகளின் தொடர் அடுக்கு இணைப்பு, பக்க அடுக்கு இணைப்பு இவற்றின் விதிகளை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

வீட்ஸ்டன் இணைப்பின் அமைப்பு :—



படம் 103—(*a*)



படம் 103—(*b*)

இதில் AC என்ற ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள சீரான கம்பி ஒன்று இரண்டு பித்தளை கட்டைகளினிடையே (படம் 103) ஒரு மரப் பீடத்தின் மீது இழுத்து கட்டப்பட்டிருக்கிறது. AE, FH, KC, என்பன மூன்று தடித்த பித்தளை அல்லது செப்புச்சட்டங்கள். EF என்ற இடை வெளியில் நாம் காணவேண்டிய மின்தடைக் கம்பியை (X) அதன் முனைகளில் பிணைக்கவும். HK என்ற இடைவெளியில் ஒரு மின்தடைப் பெட்டியை (R) இணைத்து வைக்கவும். கட்டை FHல் உள்ள B என்ற திருகுடன் D என்ற ஜாக்கியை ஒரு மின்னோட்டமானியின் மூலம் சேர்த்து பிணைக்கவும். கம்பியின் இருமுனைகளையும் (A, C) லக்ளாஞ்சு மின்கலத்துடன் (B') தட்டுச் சாவியின் வழியாகப் பிணைக்கவும். D என்னும் ஜாக்கியை பீடத்தின்மேல் நகர்த்தி கம்பி AC-ஐ எந்த இடத்திலும் தொடச் செய்யலாம்.

X-ன் மதிப்பைக் காண மின்தடைப் பெட்டியிலிருந்து வேண்டிய முளைகளைப் பிடுங்கி அதிலுள்ள மின்தடையின் மதிப்பு R-ஐ சுமாராக X-க்கு சமமாக வைத்து ஜாக்கியை நகர்த்தி AC-ஐ பல இடங்களில் தொடச் செய்யவும். இப்பொழுது மின்னோட்ட மானியில் விலக்கம் ஏற்படும். ஜாக்கி AC-ஐச் சில இடங்களில் தொடும்பொழுது மின்னோட்ட மானியின் விலக்கம் இடது புறமாகவும், மற்றும் சில இடங்களில் தொடும் பொழுது விலக்கம் வலது புறமாகவும் இருக்கும். ஜாக்கி, AC-யை ஒரு குறித்த புள்ளியில் தொடும்பொழுது மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் ஏற்படாது. R-ன் மதிப்பை மாற்றி இப்புள்ளி D-ஐ கூடியவரை கம்பி AC-ன் மையத்தினருகில் இருக்கும்படிச் செய்யவும். கம்பியின்

AD, CD என்ற பாகங்களின் நீளங்கள் முறையே l_1 l_2-வை அளந்து கொள்ளவும். வீட்ஸ்டன் விதித்தத்துவப்படி,

$$\frac{X}{R} = \frac{l_1}{l_2} \text{ ஆகும்.}$$

$$X = R.\ \frac{l_1}{l_2} \text{ ஓம் ஆகும்.}$$

இதைக் கணக்கிடுக.

R-ன் மதிப்பை சிறிது மாற்றி X-ன் மதிப்பை மறுமுறை கண்டு கொள்ளவும். பிறகு மின் தடைப் பெட்டியையும், மின் தடைக் கம்பியையும் அவற்றின் இடங்களில் மாற்றி மறுபடியும் முன்போல் X-ன் மதிப்பைக் கண்டு இவற்றின் இடை மதிப்பைக் காணவும். இதுவே கம்பியின் மின் தடையாகும். இதை X எனக் கொள்வோம்.

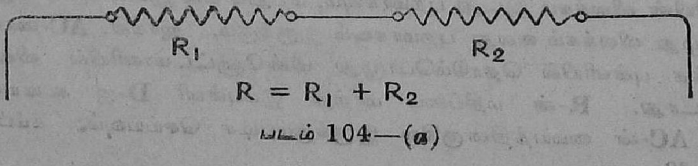
கம்பியை எடுத்து அதன் நீளத்தை (L செ. மீ.) அளவிடுக. ஒரு திருகுமானியின் உதவியால் கம்பியின் வெட்டுவாய் விட்டத்தைக் கண்டு வெட்டுவாய் பரப்பை ($A = \frac{\pi d^2}{4}$ சதுர செ. மீ.)-க் கணக்கிடவும். கம்பியின் மின் தடை $X = \rho \frac{L}{A}$ ஆகும். இதில் ρ என்பது கம்பி உலோகத்தின் உரிமை மின்தடையாகும் (specific resistance). இதைக் கணக்கிட்டுக்கொள்க.

(*b*) மின் தடைகளின் தொடர் அடுக்கு இணைப்பு, பக்க அடுக்கு இணைப்பு இவற்றின் விதிகளை நிரூபிக்கவும்.

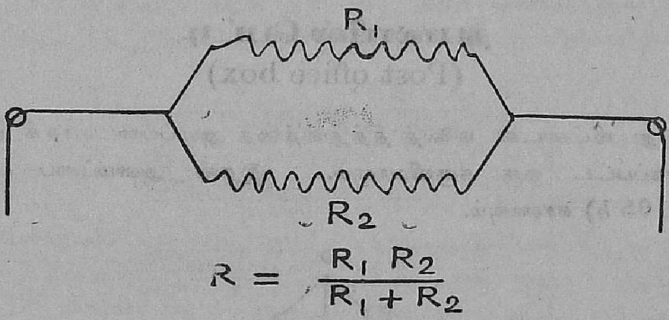
இரண்டு மின் தடைகளை எடுத்துக்கொண்டு அவற்றை R_1, R_2 எனக் குறிக்கவும். இவற்றை ஒவ்வொன்றாக வீட்ஸ்டன் இணைப்பில் உபயோகித்து தனித்தனியாக இவற்றின் மின் தடைகளைக் காண்க. பிறகு இவ்விரண்டையும் தொடர் அடுக்காக இணைத்து (படம் 104-*a*) வீட்ஸ்டன் இணைப்பில் உபயோகித்து இத்தொடர் அடுக்கத்தின் மொத்த மின் தடையைக் காணவும். இதை R ஓம் என்று கொள்க. தொடர் அடுக்கு இணைப்பு விதிப்படி,

$$R = R_1 + R_2 \text{ ஆகும்.}$$

கிடைத்த வாசகங்களை உபயோகித்து இவ்விதியை நிரூபித்துக் காட்டவும்.



படம் 104—(*a*)



படம் 104—(*b*)

பிறகு இவ்விரண்டு மின்தடைகளை (படம் 104—*b*) பக்க அடுக்காக இணைத்து (**Parallel**) வீட்ஸ்டன் இணைப்பில் உபயோகித்து இப்பக்க அடுக்கின் மொத்த மின்தடையைக் காணவும். இதை R^1 எனக்கொள்வோம். பக்க அடுக்கு இணைப்பு விதிப்படி,

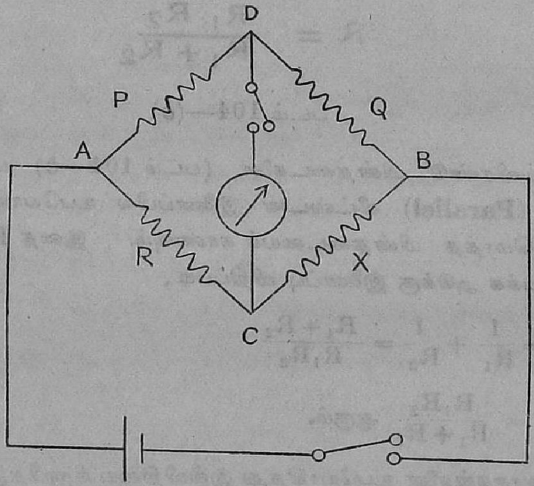
$$\frac{1}{R^1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$R^1{}_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$ ஆகும்.

நம் வாசகங்களை உபயோகித்து இவ்விதியை நிரூபித்துக் காட்டவும்.

தபாலாபீஸ் பெட்டி
(Post office box)

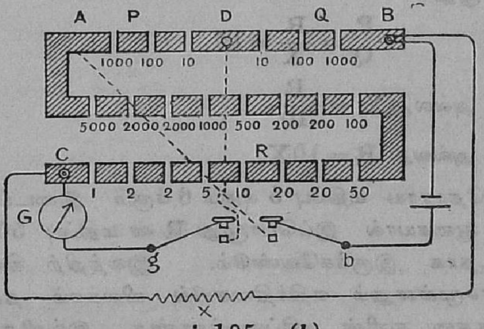
இது வீட்ஸ்டன் வலைத் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட ஒரு கருவியாகும். இதன் அமைப்பை படத்தில் (படம் 105 *b*) காணவும்.



படம் **105**—(*a*)

இதில் பல மின்தடைகள் தொடர் அடுக்காக மூன்று வரிசைகளில் வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இம்மின் தடைகள் வீட்ஸ்டன் வலையின் மூன்று கிளைகளாய் (**P, Q, R**) அமைந்திருக்கின்றன. வீட்ஸ்டன் வலைக்கும் தபால் பெட்டிக்கும் உள்ள ஒற்றுமையை படத்தில் காணவும். தபால் பெட்டியின் நான்காவது கிளையே நாம் காணவேண்டிய மின் தடையாகும். இம்மின் தடையை **C, B** என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே இணைத்துக் கொள்ளவேண்டும். **P,Q** என்ற இரண்டும் தகவுக்கிளைகள் (**Ratio arms**). இவை ஒவ்வொன்றிலும் 10, 100, 1000 ஓம் கொண்ட மூன்று மின்தடைச்சுருள்கள் உள. இதன் மூன்றாவது கிளை **R**ல் பல மின் தடைகள் உள. இவற்றில் 1 ஓம் முதல் 10000 ஓம் வரையில் மின் தடையை மாற்றி உபயோகிக்கலாம். காணவேண்டிய மின்தடையை (**X**) பெட்டிக்கு வெளிப்புறமாக **B, C** என்ற திருகுகளுடன் இணைத்துக் கொள்ளவேண்டும். **D** என்ற **P,Q** வின் மையத்திருகு ஒரு தட்டுச்சாவி

வழியாகவும், A என்ற புள்ளி மற்ெறாரு தட்டுச்சாவியுடனும் பெட்டிக்குள் நிரந்தரமாக இணைக்கப்பட்டு இருக்கின்றன. ஒரு மின்னோட்டமானி



படம் 105—(*b*)

G ஐ C, D என்ற புள்ளிகளுக்கு இடையே தட்டுச்சாவி வழியாக இணைக்கவும். லக்ளாஞ்சு மின்கலம் ஒன்றை A, B என்ற புள்ளிகளுக்கு இடையே இரண்டாவது தட்டுச்சாவி வழியாக இணைக்கவும்.

சோதனை 66 :—

தபால் ஆபீஸ் பெட்டியை உபயோகித்து கொடுத்த கம்பியின் மின்தடையைத் திருத்தமாகக் கண்டு அதன் உலோகத்தின் உரிமை மின் தடையைக் காண்க.

மின்தடை 'X' ன் மதிப்பைக்காண P, Q என்ற கிளைகள் ஒவ்வொன்றிலும் 10 ஓம் மின்தடைகளை வைத்துக்கொள்ளவும். Rஐச் சிறுகச் சிறுக அதிகப்படுத்தி மின்னோட்டமானியில் வெகு குறைவான விலக்கம் உண்டாகும்படிச் செய்யவும். இப்பொழுது R-ன் மதிப்பை ஒரு ஓம் அதிகப்படுத்தினால் மின்னோட்டமானியின் விலக்கம் முன்கிடைத்த விலக்கத்திற்கு எதிர் திசையில் இருக்கும். Rன் இவ்விரு வாசகங்களை 5 ஓம் 6 ஓம் எனக்கொள்வோம். மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் ஏற்படாதிருக்க Rன் மதிப்பு இவ்விரண்டுக்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கவேண்டும். விலக்கம் இல்லையென்றால் வீட்ஸ்டன் வலைத் தத்துவப்படி,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{X}$$

ஆனால் $\frac{P}{Q} = \frac{10}{10} = \frac{R}{X} = 1$ அல்லது $X = R$ ஆகும். ஆகையால் X ன் மதிப்பு 5 ஓமுக்கும் 6 ஓமுக்கும் இடைப்பட்டதாக இருத்தல்வேண்டும். இதை இன்னும் திருத்தமாகக்காண Pஐ 100 ஓமாக மாற்றவும்.

இப்பொழுது $\frac{P}{Q} = \frac{100}{10} = 10$. மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் இல்லாதபொழுது,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{X} = 10$$

அல்லது $X = \frac{R}{10}$

அல்லது $R = 10X$

X ன் தோராய மதிப்பு 5 க்கும் 6 க்கும் இடைப்பட்டது எனத் தெரியும். ஆகையால் இப்பொழுது R ன் மதிப்பு 50 க்கும் 60 க்கும் இடைப்பட்டதாக இருக்கவேண்டும். இவற்றிற் கிடைப்பட்ட ஒரு ஓம் வித்தியாசமுள்ளதும் எதிர்திசையில் விலக்கம் தரக்கூடியதுமான இரண்டு மின்தடைகளின் மதிப்பைக்காண்க. இவ்விதம் கண்ட R-ன் மதிப்பு 54 க்கும் 55 க்கும் இடைப்பட்டதாக வைத்துக்கொள்ளுவோம் இப்பொழுது,

$$X = \frac{R}{10}$$

அதாவது X-ன் மதிப்பு $\frac{54}{10} = 5 \cdot 4$ ஓமுக்கும், $\frac{55}{10} = 5 \cdot 5$ ஓமுக்கும் இடைப் பட்டதாகும். கடைசியாக Pஐ 1000 ஓமாக மாற்றலாம். இப்பொழுது

$$P/Q = \frac{1000}{10} = 100\ R/X$$

$X = \frac{R}{100}$ அல்லது $R = 100X$

100 X என்பது $100 \times 5 \cdot 4 = 540$ ஓமுக்கும் $100 \times 5 \cdot 5 = 550$ ஓமுக்கும் இடைப்பட்டிருக்கவேண்டும். இவ்விரண்டிற்குமிடையே R-ஐ மாற்றி மின்னோட்டமானியில் மிகக்குறைவான விலக்கம் ஏற்படச் செய்யவும். இப்பொழுது R-ன் மதிப்பு 547 ஓம் ஆனால் Xன் மதிப்பு $\frac{547}{100} = 5 \cdot 47$ ஓமாகும்.

மின்னோட்டமானி மிகவும் உணர்வுடன் இருந்தால் X-ன் மதிப்பை இதைவிடத் திருத்தமாகவும் காணலாம். இம்மின்தடைக்கம்பியை வெளியிலெடுத்து அதன் நீளத்தையும் விட்டத்தையும் அளவிட்டு அக்கம்பி உலோகத்தின் உரிமை மின்தடையைக் கணக்கிடுக.

$$\rho = X\frac{A}{L} = X\frac{\pi d^2}{4L} \text{ (ஓம் செ. மீ.)}$$

மின்கலங்களின் மின் இயக்குவிசைகளை ஒப்பிடுதல்.
(Comparison of E. M. F of two cells)

இரண்டு மின்கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளை இரண்டு சோதனைகளால் ஒப்பிடலாம்.

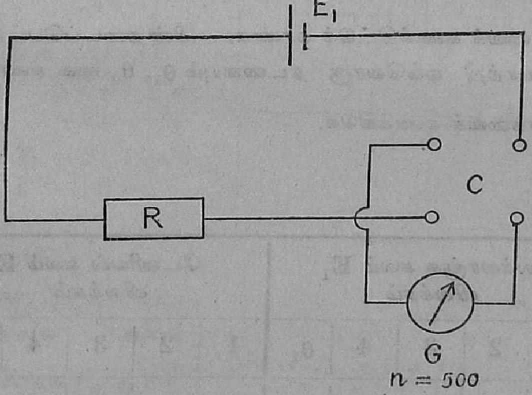
சோதனை 67 :—

ஒரு பரிச மின்னோட்டமானியை உபயோகித்து லக்ளாஞ்சு, டேனியல் மின் கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளை ஒப்பிடுக.

சோதனைக்கு வேண்டிய சாதனங்கள் :—

ஒரு லக்ளாஞ்சு மின்கலம், ஒரு டேனியல்மின்கலம், ஒரு பரிச மின்னோட்டமானி, ஒரு பாதரச திசைமாற்றி, ஒரு மின்தடைப்பெட்டி.

முதலில் லக்ளாஞ்சு கலத்துடன் மின்தடைப்பெட்டியையும், திசைமாற்றியின் வழியாகப் பரிச மின்னோட்டமானியின் 500 சுற்றுச் சுருளையும் (படம் 106) தொடர் அடுக்காக இணைக்கவும்.



படம் 106

மின்னோட்டமானியைச் சரிப்படுத்தி வைக்கவும். மின் தடைப் பெட்டியில் R-ஐ மாற்றி மின்னோட்டமானியில் சுமார் 45 டிகிரி இருக்கும்படி செய்து, இடைமதிப்பு விலக்கம் θ_1ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்க. இப்பொழுது லக்ளாஞ்சு கலத்தை எடுத்துவிட்டு, டேனியல் கலத்தை மின்சாரச்சுற்றில் இணைத்து R-ஐ மாற்றாமல் கிடைக்கும் இடைமதிப்பு விலக்கம் θ_2 வைக் காணவும். லக்ளாஞ்சு, டேனியல்

கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளை முறையே E_1, E_2 என வைத்துக் கொள்ளவும். கலங்களின் மின்தடைகளை B_1, B_2 எனவும், மின்னோட்ட மானியின் 500 சுற்றுச்சுருளின் மின்தடையை G என்றும் கொள்க. இதில் B_1, B_2 மிகக் குறைவான மதிப்பை உடையவை. G அதிக மதிப்பை உடையது. ஆகையால் மின்சாரச்சுற்றில் உள்ள மொத்த மின் தடையை, B_1, B_2 வைப் புறக்கணித்துவிட்டு, R+G எனக் கொள்ள லாம். லக்லாஞ்சுக்கலம் மின்சாரச் சுற்றில் உண்டாக்கும் மின் அருவியின் அளவு $\frac{E_1}{R+G} = K\ tan\ \theta_1$. டேனியல் கலம் இதே மின்சாரச் சுற்றில் உண்டாக்கும் மின் அருவியின் அளவு $\frac{E_2}{R+G} = K\ tan\ \theta_2$.

$$E_1 = (R+G)\ K\ tan\ \theta_1$$

$$E_2 = (R+G)\ K\ tan\ \theta_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{tan\ \theta_1}{tan\ \theta_2}$$

இத்தகவைக் கணக்கிட்டுக் காண்க. மின்தடைப்பெட்டியில் R-ஐ இருமுறை மாற்றி ஒவ்வொரு தடவையும் θ_1, θ_2-வை கண்டு நிரலிட்டு $\frac{E_1}{E_2}$ என்ற தகவைக் கணக்கிடுக.

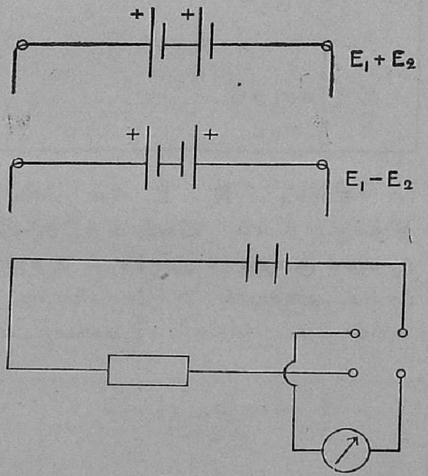
நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	லக்லாஞ்சு கலம் E_1 விலக்கம்					டேனியல் கலம் E_2 விலக்கம்					$E_1/E_2 = \frac{tan\ \theta_1}{tan\ \theta_2}$
	1	2	3	4	θ_1	1	2	3	4	θ_2	
1											
2											
3											

E_1/E_2-ன் இடைமதிப்பு =

கூட்டல் கழித்தல் முறை : (Sum & difference method) :—

லக்லாஞ்சுகலம், டேனியல் கலம் இரண்டையும் சேர்த்து மின்சுற்றில் இணைத்து இவற்றின் மின் இயக்குவிசைகளின் தகவு $\frac{E_1}{E_2}$ வைக் காணலாம். லக்லாஞ்சுக்கலத்தின் மின் இயக்குவிசை E_1, டேனியல் கலத்தின்மின் இயக்குவிசை E_2-வைவிட அதிகம். இவ்விரண்டு கலங்களையும் தொடர் அடுக்காக இணைத்து மின்சுற்றில் இணைக்கவும் (படம் 107). மின்னோட்ட மானியில் விலக்கம் சுமார் 45° இருக்கும்படி R-ஐ மாற்றி அமைத்து இடைமதிப்பு விலக்கம் θ_1-ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்க. கலங்கள் இவ்விதம் இணைக்கப்படும் பொழுது இத்தொடரின் மொத்த மின் இயக்கு விசை E_1+E_2 ஆகும். இதனால் மின் சுற்றில் ஓடும் மின் அருவியின் அளவு $\frac{E_1+E_2}{R+G+B} = K tan\ \theta_1$ ஆகும். கலங்களின் இணைப்பை எடுத்துவிட்டு அவை ஒன்றையொன்று எதிர்த்து இருக்கும்படி, படத்தில் (107) காட்டியபடி சேர்த்து மின்சுற்றில் இணைக்கவும். இப்பொழுது கலங்களின் மொத்த மின் இயக்கு விசை E_1-E_2 ஆகும். R-ஐ மாற்றுமல் மின்னோட்ட மானியில் ஏற்படும் இடை மதிப்பு விலக்கம் θ_2-வைக் காண்க. மின் சுற்றில் ஓடும் மின் அருவியின் அளவு $\frac{E_1-E_2}{R+G+B} = K tan\ \theta_2$ ஆகும்.



படம் 107

$$E_1+E_2=(R+G+B)\ K\ tan\ \theta_1$$

$$E_1-E_2=(R+G+B)\ K\ tan\ \theta_2$$

$$\frac{E_1+E_2}{E_1-E_2}=\frac{tan\ \theta_1}{tan\ \theta_2}.$$

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{tan\ \theta_1+tan\ \theta_2}{tan\ \theta_1-tan\ \theta_2}.$$

இதைக் கணக்கிடுக.

R-ஐ மாற்றி மற்ருெருமுறை இச்சோதனையைச் செய்து $\frac{E_1}{E_2}$ வின் இடை மதிப்பைக் காண்க.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	$E_1 + E_2$ விலக்கம்					$E_1 - E_2$ விலக்கம்					$E_1/E_2 = \frac{tan\ \theta_1 + tan\ \theta_2}{tan\ \theta_1 - tan\ \theta_2}$
	1	2	3	4	θ_1	1	2	3	4	θ_2	

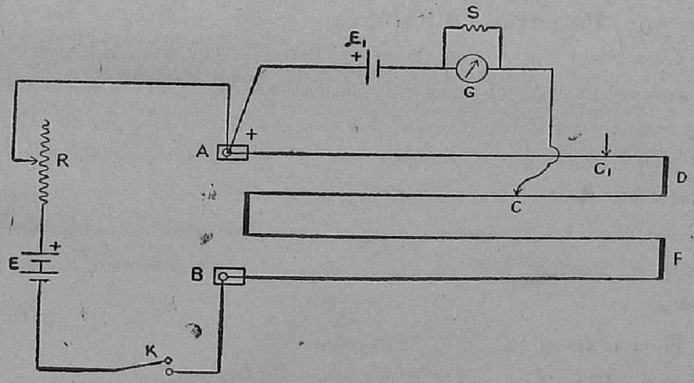
குறிப்பு :—$E_1 - E_2$ வின் அளவு $E_1 + E_2$ வைவிட மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் விலக்கம் θ_2, θ_1-ஐவிட மிகக் குறைவாக இருக்கும் θ_2-மிகக் குறைவாக இருந்தால் இதனல் ஏற்படக்கூடிய பிழையும் அதிகமாகும். ஆகையால், இச்சோதனைக்கு E_1, E_2 என்ற மின் இயக்கு விசைகளின் மதிப்பு அதிக வேற்றுமையுடன் இருப்பது நலம்.

நிலைப்புமானி
(Potentiometer)

மின் கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளையும், மின்சுற்றில் இரண்டு புள்ளிகட்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமையையும் திருத்தமாகக்காண, நிலைப்புமானி ஒரு சிறந்த கருவியாகும். இதில் நீண்ட, சீரான மெல்லிய கம்பி ஒன்று ஒரு பீடப்பலகையில் **A, B** என்ற திருகுகளினிடையே இழுத்துக்கட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதனுடன் ஒரு ஜாக்கி உள்ளது. இதைப் பீடத்தின்மேல் நகர்த்தி கம்பியை எவ்விடத்திலும் தீண்டச் செய்யலாம். சில நிலைப்புமானிகளில் இக்கம்பி 1000 செ. மீ. நீளத்தைக் கூட கொண்டிருக்கும். இக்கருவிகளில் கம்பியை மடித்து மடித்துப் படத்தில் காட்டியபடி (படம் 108) இழுத்துக்கட்டப்பட்டிருக்கும்.

சோதனை 68 :—

நிலைப்புமானியை உபயோகித்து லெக்லாஞ்சு, டேனியல் கலங்களின் மின் இயக்கு விசைகளை ஒப்பிடுக.



படம் 108

இரண்டு ஈயச்சேமங்களை **(Lead batteries)** தொடர் அடுக்காகச் சேர்த்து, நிலைப்புமானிக் கம்பியின் இருமுனைகட்குமிடையே ஒரு தட்டுச் சாவி **(K)**, ஒரு தகைப்பு **(R)**, இவற்றின் வழியாக இணைக்கவும் (படம் 108). கலங்களின் மிகைத்துருவம் **A**-யுடன் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதைக் கவனித்துக்கொள்ளவும். இது பிரதம மின்சுற்று **(main circuit)** ஆகும். லெக்லாஞ்சு கலத்தின் மிகைத் துருவத்தை **A**-யுடனும், மற்றொரு

துருவத்தை ஒரு மின்னோட்டமானியின் (G) வழியாக ஜாக்கியுடனும் இணைத்துக்கொள்க. சாவி K-ஐக் தட்டி அமுக்கிக்கொண்டு ஜாக்கியை நகர்த்தி கம்பியை எதாவது ஒரு புள்ளியில் தீண்டச்செய்யவும். இப்பொழுது மின்னோட்டமானியில் ஒரு விலக்கம் எற்படும். ஜாக்கியை நகர்த்திக் கம்பியைப் பல புள்ளிகளில் தொடச்செய்து மின்னோட்டமானியின் விலக்கத்தைக் கவனிக்கவும். ஒரு புள்ளியில் ஜாக்கி கம்பியைத் தீண்டும்பொழுது மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் எற்படாது. இச்சமநிலைப் புள்ளியை (null point)க் காண்க. A C என்ற புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட கம்பியின் நீளம் l_1-ஐ அளவியில் வாசித்துத் தெரிந்துகொள்க. லெக்லாஞ்சுக் கலத்தை எடுத்துவிட்டு டேனியல் கலத்தை இணைத்து இச்சோதனையைச் செய்து கம்பியில் சமநிலைப்புள்ளி C_1-ஐக் காண்க. கம்பின் A C_1 என்ற பாகத்தின் நீளம் l_2 வை அளவிடுக.

A B என்ற கம்பியின் 1 செ. மீ. நீளத்தின் மின்தடை r ஓம் எனக் கொள்ளுவோம். பிரதம மின் சுற்றினல் A B யில் ஓடும் மின் அருவியை i என வைத்துக்கொள்ளுவோம். l செ. மீ. நீளக்கம்பியின் மின்தடை lr ஓம் ஆகும். A, C என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமை (Potential difference) ஓமின் விதிப்படி lri ஆகும் லக்ளாஞ்சுக் கலத்தின் மின் இயக்குவிசை E_1 என்றால், E_1 என்ற மின் இயக்குவிசையும், A, C என்ற புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமையும் மின்னோட்டமானியில் ஒன்றுக்கொன்று எதிராக இரண்டு மின் அருவிகளை ஓடச்செய்கின்றன. இவ்விரு அருவிகளும் ஒரே அளவைக்கொண்டிருந்தால் மின்னோட்டமானியில் விலக்கம் எற்படாது. இவ்விதம் விலக்கம் இல்லாதபொழுது கலத்தின் மின் இயக்கு விசையும், A, C, இவற்றினிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமையும் ஒன்றாகும். அதாவது,

$E_1 = l_1\, ir$ ஆகும்

இதேவிதம் $E_2 = l_2 ir$ ஆகும்.

ஆகையால் $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$ ஆகும்.

இதைக் கணக்கிடுக.

இப்பொழுது பிரதம மின்சுற்றில் உள்ள தகைப்பில் மின்தடை R-ஐ மாற்றி மறுபடி l_1, l_2 வைக் காண்க. R-ஐ மாற்றினல் i மாறும். ஆகையால் l_1, l_2 இவ்விரண்டும் மாறும். ஆனல் $\frac{l_1}{l_2}$ மாறாமல் ஒரே

அளவை கொண்டிருக்கும். இதைக் காண்க. இவ்விதம் பலமுறை செய்து $\frac{E_1}{E_2}$ வின் இடை மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

நிரலீடு :—

எண்ணிக்கை	லக்ளாஞ்சு கலத்துடன் சமநிலையடையும் கம்பியின் நீளம் $AC_1 = l_1$	டேனியல் கலத்துடன் சமநிலையடையும் கம்பியின் நீளம் $AC_1 = l_2$	$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$

$\frac{E_1}{E_2}$ வின் இடை மதிப்பு.

குறிப்பு :—

இச்சோதனைக்குக் கீழ் கொடுத்த குறிப்புகளை முக்கியமாகக் கவனிக்கவேண்டும்.

(1) சேமங்களின் மிகைத்துருவமும், லக்ளாஞ்சு அல்லது டேனியல் கலத்தின் மிகைத் துருவமும் நிலைப்புமானிக் கம்பியின் ஒரே முனையில் இணைக்கப்படவேண்டும். இவ்விதம் செய்யாவிட்டால் ஜாக்கி, கம்பியை எப்புள்ளியில் தொட்டாலும் மின்னோட்டமானியில் ஒரே பக்கத்தில் விலக்கம் ஏற்படும். சமநிலைப்புள்ளியே கிடைக்காது.

(2) E_1 என்னும் மின் இயக்கு விசை A, C, என்ற புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமைக்கு சமமென்று கண்டோம். இந்நிலைப்பு வேற்றுமை கம்பி முனைகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமையின் ஒரு பகுதியேயாகும். ஆகையால் கம்பிமுனைகள் (A, B)-க்கு இடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமை, E_1 ஐவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். அதாவது பிரதம மின்சுற்றில் சேமங்களின் மின் இயக்கு விசை (E), E_1 ஐவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். தவிர மின்தடையை மாற்றுவதால் A, B இவற்றினிடையே உள்ள நிலைப்பு வேற்றுமை மாறும். R அதிகமானல் இந்நிலைப்பு வேற்றுமை குறையும். இவ்விதம் குறைந்து

இது E_1ஐ விடச் சிறியதாக ஆனல் கம்பியில் சமநிலைப்புள்ளி கிடைக்காமல் மின்னேட்டமானி ஒரே திசையில் விலக்கத்தைக் கொடுக்கும். இவ்விதமிருப்பின் Rஐ குறைத்துக்கொள்ளவேண்டும்.

(3) முதல் இரண்டு குறிப்புக்களில் சொன்னபடி இல்லாமல் தவறு ஏதாவது இருந்தாலும், சமநிலைப்புள்ளியிலில்லாமல் வேறு புள்ளியில் ஜாக்கி கம்பியைத் தீண்டினலும், மின்னேட்டமானியில் மிக அதிக விலக்கம் ஏற்படும். இதனல் மின்னேட்டமானியே கெட்டுவிடும். இதைத் தவிர்க்க மின்னேட்டமானியுடன் இணை அடுக்காக குறைவான மின்தடையைக்கொண்ட S என்ற ஒரு கடத்தியை (Conductor) பிணைத்து வைக்கவும். தோராயமான சமநிலைப்புள்ளியைக் கண்ட பிறகு இக்கடத்தியை எடுத்துவிட்டு திருத்தமாகச் சமநிலைப் புள்ளியைக் காணவும்.

முன் சோதனையில் செய்தவிதம் இச்சோதனையையும் கூட்டல் கழித்தல் முறையில் செய்யலாம்.

மின் ரசாயன சம பலம்
(Electro chemical equivalent)

சோதனை 69 :—

செப்பின் மின் ரசாயன சம பலத்தைக் காண்க.

இலக்கணம் :—

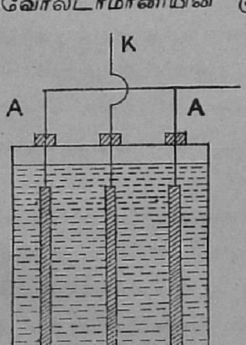
ஒரு மின்னூட்டியில் (**Electrolyte**) ஒரு ஆம்பியர் மின் அருவி ஒரு செகண்டிற்கு ஓடுவதால் படியும் பொருளின் எடை அப்பொருளின் மின் ரசாயன சம பலமாகும்.

சோதனைக்கு வேண்டிய சாதனங்கள் :—

ஒரு செப்பு ஓல்டாமானி (**copper voltometer**), ஒரு பரிச மின் னோட்டமானி, ஒரு திசை மாற்றி, ஒரு தகைப்பு, மூன்று நான்கு சேமங் கள், ஒரு நிறுத்துகடிகாரம்.

செப்பு ஓல்டா மானியின் அமைப்பு :—

இதில் ஒரு கண்ணாடிச் சாடியில் 15% செப்புக்கந்தகக் கரைசல் (**Cu So_4 solution**) இருக்கிறது (படம் 109). இக்கரைசலில் முக்கால் அளவு மூழ்கி இருக்கும்படி மூன்று செப்புத்தகடுகள் இணையாக சாடியின் மரமூடியில் பொருத்தி வைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மத்தியிலுள்ள தகடு இவ்வோல்டாமானியின் குறைத்துருவம் (**Kathode**) ஆகும். இரண்டு புறங்களிலுமுள்ள செப்புத் தகடுகள் ஒன்றாக மூடியின் மேல் புறத்தில் இணைக்கப்பட்டு ஒரு பிடிப்புத் திருகுடன் கூடியிருக்கின்றன. இத் தகடுகள் இவ்வோல்டாமானியின் மிகைத் துருவம் (**Anode**) ஆகும். இத்தகடுகளை சாடி மூடியிலிருந்து சுலபமாகப் பிரித்து எடுக்கவும் மறுபடி அதில் சேர்த்துப் பிணைக்க வும் கூடும். குறைத்துருவத் தகடு அதிக பரப்பைக் கொண்டதாக இருத்தல் நலம். இவ்விதம் இருந்தால் செப்பு சீராகவும் கெட்டியாகவும் அதன்மேல் படியும். இதன் பரப்பின் ஒவ்வொரு 50 சதுர செ. மீட்டர் களுக்கு ஒரு ஆம்பியர் வீதம் மின் அருவியை ஓல்டாமானியில் ஓடச் செய்யவேண்டும்.

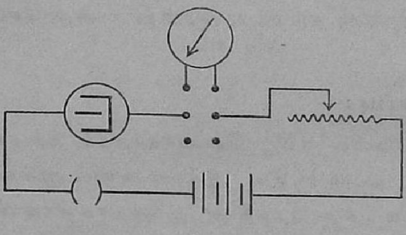


படம் 109

இவ்வோல்டாமானியில் c ஆம்பியர் மின் அருவி மிகைத் துருவத்தி விருந்து குறைத்துருவத்திற்கு t செகண்டிற்கு ஓடினால் குறைத்துருவத்தில் படியும் செப்பின் எடை $m = \text{E}ct.$ கிராம் ஆகும். இச்சமன்பாட்டில் **E** என்பது செப்பின் மின் ரசாயன சமபலம் (**Electro chemical equivalent**). மின் அருவியின் அளவை ஒரு ஆம்பியர்மானி அல்லது ஒரு பரிச மின்னேட்டமானியைக்கொண்டு அளக்கலாம்.

குறைத் துருவத்தில் படிந்த செப்பின் எடை, சோதனைக்கு முன்னும் பின்னும் இத்துருவத்தின் எடைகளின் வேற்றுமையாகும்.

சேமங்களை தொடர் அடுக்காக இணைத்து இத்தொடரை செப்பு ஓல்டாமானி, தகைப்பு, திசைமாற்றி வழியாக பரிச மின்னேட்டமானி ($n = 2$) இவற்றுடன் தொடராக இணைத்துக்கொள்க (படம் 110).



படம் 110

சேமங்களின் குறைத்துருவம் ஓல்டாமானியின் குறைத் துருவத்துடன் (**Kathode**) இணைக்கப்பட வேண்டும். மின்னேட்டமானியைச் சரிப் படுத்தி வைத்து, தகைப்பை மாற்றி மின்னேட்டமானியில் 45° விலக்கம் ஏற்படச் செய்யவும். இப்பொழுது மின் அருவியை நிறுத்தி ஓல்டாமானியிலிருந்து குறைத்துருவத் தகட்டை வெளியில் எடுத்துக்கழுவி, நன்றாகத் துடைத்துவிட்டு அதன் எடை m_1-ஐக் காண்க. மறுபடி இத்தகட்டை அதன் இடத்தில் பொருத்தி வைக்கவும். மின் அருவியை ஓடச்செய்து உடனே நிறுத்து கடிகாரத்தையும் ஓட்டிவிடவும். 15 நிமிஷ நேரம் மின் அருவியை ஓடச் செய்ய வேண்டும். இந்நேரத்தில் மின் அருவியின் அளவு மாறாதிருக்கவேண்டும். 2, 3 நிமிஷங்களுக்கொருமுறை மின்னேட்டமானி சூசிகை முனைகளின் வாசகங்களை கண்டு குறித்துக்கொள்க. தவிர 2, 3 நிமிஷங்களுக்கொரு முறை மின்னேட்டமானியில் மின் அருவியின் திசையை மாற்றி அதன் வாசகங்களை குறித்துக்கொள்ளவும். இவ்வாசகங்களின் இடை மதிப்பு θ என்றால் மின் அருவியின் அளவு $C = K \tan \theta$. இங்கு $K = \dfrac{10\, r\, H}{2\pi n}$. மின்னேட்டமானி சுருளின் ஆரம் rஐ அளந்து, $H = \cdot 38$ என்று வைத்துக் கொண்டு, **K**-ஐ கணக்கிட்டு, **C**ஐக் காணவேண்டும்.

சரியாக பதினைந்து நிமிஷங்கள் ஆனவுடன் மின் அருவியை நிறுத்தி விட்டு குறைத்துருவத் தகட்டை எடுத்து, தண்ணீரில் கழுவி, காற்றில் நன்றாக உலரவைத்து, அதன் எடை m_2 வைக் காணவும். இந்த எடை m_2 முன் கண்ட எடை m_1-ஐ விடச் சிறிது அதிகமாக இருக்கும். இவற்றின் வேற்றுமை $(m_2 - m_1)$ கிராம், இத்தகட்டில் படிந்த செப்பின் எடையாகும். மின் அருவியின் அளவு Cஐ கணக்கிட்டுக் கொள்க.

$m_2 - m_1 = \mathrm{ECt}$ ஆகும்.

$$\mathrm{E}\frac{m_2 - m_1}{\mathrm{C}t}$$

t என்னும் நேரம் செகண்டுகளில் குறிக்கப்படவேண்டும். E ஐக் கணக்கிட்டுக் காண்க. வாசகங்களை கீழ்க்கண்டவிதம் குறிக்கவும்:—

சோதனைக்கு முன், குறைத்துருவத்தகட்டின் எடை $= m_1$ கிராம்
சோதனைக்குப்பின் இத்தகட்டின் எடை $= m_2$ கிராம்
தகட்டில் படிந்த செப்பின் எடை $= m_2 - m_1$ கிராம்
மின்னோட்டமானிச் சுருளின் சுற்று எண்ணிக்கை $= n$
மின்னோட்டமானி விலக்கங்களின் இடை மதிப்பு $= \theta$
மின் அருவி ஓட்டத்தின் நேரம் $= t$ செகண்டுகள்
மின்னோட்டமானி சுருளின் ஆரம் $= r$ செ. மீ.
படுகைத்தளத்தில் பூமியின் காந்தப்புலத்தின் வலிமை $= \mathrm{H}$

(Horizontal component of the earth's field)

மின் அருவியின் அளவு $\mathrm{C} = \frac{10\, r\, \mathrm{H}}{2\pi n} \tan\theta$

செப்பின் மின் ரசாயன சமபலம் $\mathrm{E} = \frac{m_2 - m_1}{\mathrm{C}t}$

E-ஐக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

மின்னருவியின் வெப்பவியல்
(Heating effects of Electric current)

ஒரு மின் கடத்தி வழியாக மின் அருவி C ஆம்பியரை t செகண்டிற்கு ஓடச்செய்தால் இக்கடத்தி மின் அருவி ஓட்டத்தால் சூடு அடைகிறது. இச்சூட்டினுல் இக்கடத்தியின் வெப்பநிலை மிக அதிகமாக ஏறும். இவ்விதம் இக்கடத்தியில் உண்டாகும் சூட்டை H கலோரி என்றும், கடத்தியின் மின் தடை R ஓம் என்றும் கொண்டால்

$$JH = C^2Rt$$ ஆகும்.

இச்சமன்பாட்டில் J என்பது வெப்பத்தின் இயக்கவேலை சமத்துவமாகும்.

இக்கடத்தியில் C ஆம்பியர் மின் அருவி ஓடும்பொழுது இதன் முனைகளுக்கிடையே உள்ள நிலைப்பு வீழ்ச்சியை E ஓல்டு என்று கொண்டால், இம்மின்னருவி t செகண்டுகள் கடத்தியில் ஓடுவதால் செய்யப்பட்ட வேலை ECt ஜோல்கள் ஆகும். கடத்தி அடைந்த சூடு H கலோரிகளானல்

$$JH = ECt$$ ஆகும்.

இச்சூடு Hஐ கலோரி மீட்டர் ஒன்றை உபயோகித்துக் காணலாம். மின்னருவி ஓட்டத்தால் ஏற்படும் வேலையை C, R அல்லது E, C இவற்றை அளந்து கணக்கிடலாம். இவ்விரண்டும் தெரிந்தால் J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் காணலாம்.

சோதனை 70 :—

மின் சோதனையால் J-யின் மதிப்பைக் காண்க.

சோதனைக்கு வேண்டிய சாதனங்கள் :—

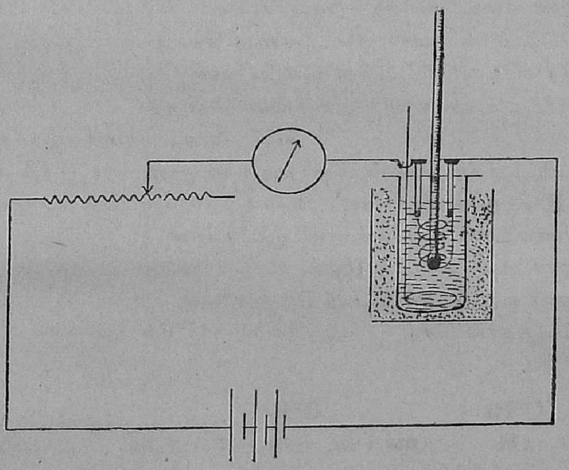
ஒரு ஜோல் கலோரி மீட்டர், மூன்று அல்லது நான்கு சேமங்கள் (**accumulators**), ஒரு தகைப்பு (**Rheostat**), ஒரு ஆம்பியர்மானி, ஒரு தபால் ஆபீஸ் பெட்டி, ஒரு நிறுத்து கடிகாரம், ஒரு வெப்பமானி.

ஜோல் கலோரி மீட்டரின் அமைப்பு :—

இது ஒரு எபொனைட் மூடியுடன் கூடின ஒரு சாதாரண கலோரி மீட்டர். இம்மூடியில் இரண்டு தடித்த செம்புக்கம்பிகள் உள. இவற்றின் கீழ்முனைகளை இணைத்துக்கொண்டு சுமார் 5 ஓம் கொண்ட ஒரு மின் கடத்திச்சுருள் இருக்கிறது. இச்செம்புக்கம்பிகள் மூடியிலுள்ள இரண்டு பிடிப்புத் திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இம் மூடியில் இரண்டு துவாரங்கள் உள. ஒன்றின் வழியாக செம்புக்கம்பி துடுப்பு ஒன்றையும் (**Stirrer**), மற்றொன்றின் வழியாக வெப்பமானி ஒன்றையும் சொருகி உபயோகிக்கலாம். இக்கலோரி மீட்டர் வெளிப் பாத்திரமொன்றில் வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

சோதனையை ஆரம்பிக்குமுன் தபால் ஆபீஸ் பெட்டியை உபயோகித்து இக்கடத்தியின் மின்தடை R-ஐக் கண்டு கொள்க. துடைப்புடன் காலிக் கலோரி மீட்டரின் (மூடியில்லாமல்) எடை m_1-ஐக் காண்க. இதில் $\frac{3}{4}$ பாகம் தண்ணீர் நிரப்பி மறுபடி அதன் எடை m_2-வைக் காண்க. இக் கலோரி மீட்டரை வெளிப்பாத்திரத்தில் அதைத் தொடாமல் வைக்கவும். மூடியை கலோரி மீட்டரில் வைக்கவும். இம்மூடியிலுள்ள மின்கடத்திச் சுருள் முழுவதும் தண்ணீரில் மூழ்கி இருக்கவேண்டும். இதைக் கவனிக்கவும்.

சேமங்களை தொடராக இணைத்து இத்தொடரை படத்தில் காட்டியபடி (படம் 111), தகைப்பு, ஆம்பியர்மானி, கலோரி மீட்டரி



படம் 111

லுள்ள கடத்தி, இவற்றுடன் ஒரு முனைச்சாவி வழியாகத் தொடர் அடுக்காக இணைக்கவும்.

சாவியில் முளையைச் சொருகி, தகைப்பை மாற்றி, மின் அருவியின் அளவை ஒரு ஆம்பியர் ஆக்கவும். இதன் அளவை ஆம்பியர் மானியில் கண்டு கொள்ளவும். இப்பொழுது சாவி முளையை எடுத்து, மின் ஓட்டத்தை நிறுத்தி, கலோரி மீட்டரைக் கலக்கி, வெப்பமானியைக் கொண்டு, கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை t_1°c ஐக் கண்டு குறித்துக் கொள்க. இப்பொழுது மறுபடியும் சாவியில் முளையைச் சொருகி மின் அருவியை ஓடச்செய்து நிறுத்து கடிகாரத்தையும் ஓட்டிவிடவும். ஆம்பியர் மானியின் வாசகத்தைக் கவனித்து மின் அருவியின் அளவு சோதனை முழுவதும் மாறுமல் ஒரு ஆம்பியராகவே இருக்கும்படிச் செய்ய

C
152

வேண்டும். கலோரி மீட்டரைக் கலக்கிக்கொண்டே வெப்பமானியின் வாசகங்களைக் கவனிக்கவும். கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை சுமார் 5 c ஏறினவுடன் மின் அருவி ஓட்டத்தையும் கடிகாரத்தையும் நிறுத்தவும். கலோரி மீட்டரைக் கலக்கி அது அடைந்த உச்ச வெப்பநிலை t_2°c ஐக் கண்டு குறித்துக்கொள்க. வாசகங்களைக் கீழ் கொடுத்தவிதம் தொகுத்து எழுதி J-ஐக் கணக்கிடவும்.

காலி கலோரி மீட்டரின் எடை $= m_1$ கிராம்
$\frac{3}{4}$ பாகம் தண்ணீருடன் அதன் எடை $= m_2$ கிராம்
சோதனைக்குமுன் கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை t_1°c.
சோதனைக்குப்பின் கலோரி மீட்டரின் வெப்பநிலை t_2°c
தண்ணீரின் எடை $= (m_2 - m_1)$ கிராம்
கலோரி மீட்டரின் சமநீர் எடை $= m_1 s$ கிராம்
(s கலோரி மீட்டரின் வெப்ப எண்)
கலோரி மீட்டர், தண்ணீர் இவற்றின் மொத்த
சமநீர் எடை $(ms + m_2 - m_1)$ கிராம்
கலோரி மீட்டர் ஏற்றவெப்பம் $= (ms + m_2 - m_1)\ (t_2 - t_1)$ கலோரிகள்
$H = (ms + m_2 - m_1)\ (t_2 - t_1)$
ஆம்பியர்மானியின் வாசகம் $= C$ ஆம்பியர்கள்
கடத்தியின் மின் தடை $= R$ஓம்
மின் அருவி ஓடின நேரம் $= t$ செகண்டுகள்
மின் ஓட்டத்தால் செய்யப்பட்டவேலை $= C^2Rt$ ஜோல்கள்.
$JH = C^2Rt$

$$J = \frac{C^2Rt}{H} = \frac{C^2Rt}{(ms + m_2 - m_1)\ (t_2 - t_1)} \text{ ஜோல்கள்/கலோரி.}$$

இதைக் கணக்கிட்டுக் காண்க.

குறிப்பு :—

இச்சோதனையில் மின் அருவியின் அளவை ஆம்பியர்மானியால் கண்டோம். இதை ஒரு பரிச மின்னோட்டமானியாலும் காணலாம். தவிர கடத்தியின் மின்தடையை அளப்பதற்கு பதிலாக கடத்தி முனைகளுக்கு இடைப்பட்ட நிலைப்பு வேற்றுமை Eஐ ஒரு வோல்டுமானியால் கண்டு மின்னோட்டத்தால் செய்யப்பட்ட வேலையைக் கணக்கிடலாம். இவ்வேலை ECt ஜோல்கள் ஆகும். $JH = ECt$ என்ற சமன்பாட்டைக் கொண்டு J-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். J-யின் மதிப்பு 4·2 ஜோல்கள். இது ஒரு மாறிலியாகும். இதை எர்க்குகளிலும் (*Erg*) குறிப்பிடலாம்.

$J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ எர்க்குகள் / கலோரி.

11091

TABLE I

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7

TABLE 1—(*Continued*)

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences 1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4

TABLE 2

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences 1	2	3	4	5	6	7	8	9
·00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
·04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
·08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
·11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
·13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
·19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
·21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
·23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
·26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
·28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
·34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
·39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
·40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
·42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
·43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
·45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
·48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
·49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6

TABLE 2—*Continued.*

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences 1	2	3	4	5	6	7	8	9
·50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
·51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	5	6	7
·54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
·55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
·56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
·58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
·59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
·60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
·61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
·66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
·67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
·68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
·69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
·70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
·71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
·72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
·73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
·74	5495	5508	5521	5234	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
·75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
·76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
·77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
·78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
·79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
·80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
·81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
·83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
·84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
·85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
·87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
·88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
·89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
·90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
·91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
·92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
·93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
·95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
·96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
·97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
·98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
·99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

TABLE 3

NATURAL SINES

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
0°	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	·0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	·0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	14
5	·0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	·1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	·1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	·1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	·1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	·1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	11	14
11	·1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	3	6	9	11	14
12	·2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233	3	6	9	11	14
13	·2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	·2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	·2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	·2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	·2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3	6	8	11	14
18	·3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	·3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20°	·3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	·3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	·3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	·3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	3	5	8	11	14
24	·4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	·4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	·4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	·4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	3	5	8	10	13
28	·4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	·4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30°	·5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	·5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	·5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	·5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	·5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	·5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	9	12
36	·5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	·6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	·6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	·6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	·6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	·6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	·6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	·6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	·6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10

TABLE 3—*Continued.*

NATURAL SINES

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
45°	7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50°	·7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	·7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	·7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	·8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	·8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	·8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	2	3	5	6	8
57	8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	2	3	5	6	8
58	8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	·8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60°	·8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7
61	·8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	·8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	·8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	·8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	·9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	·9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	·9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	·9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70°	·9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	·9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	·9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	3	3	4
74	·9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	·9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	2	2	3	4
76	·9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	·9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	·9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	·9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80°	·9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	·9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	·9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	·9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	·9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	·9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	·9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	·9998	9999	9999	9999	9999	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	0	0	0	0	0

TABLE 4

NATURAL COSINES

N.B.—Subtract Mean Differences

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
0°	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	1·000	9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	·9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	·9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	·9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	·9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	·9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	·9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	·9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	·9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	·9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10°	·9848	9845	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	·9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	·9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	3	3
13	·9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	3	3
14	·9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	·9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	·9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	·9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	·9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	·9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9409	9403	1	2	3	4	5
20°	·9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	·9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	·9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	·9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	·9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	·9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6
26	·8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	·8910	8902	8894	8886	8878	8870	8862	8854	8846	8838	1	3	4	5	7
28	·8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	·8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30°	·8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	·8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	·8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	·8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	·8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	·8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	·8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	·7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	·7880	7869	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7793	7782	2	4	5	7	9
39	·7771	7760	7749	7738	7727	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40°	·7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	·7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	·7431	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	·7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	·7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10

NATURAL COSINES

N.B.—Subtract Mean Differences

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
45°	·7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	·6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	·6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	·6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	·6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50°	·6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6320	6307	2	4	7	9	11
51	·6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	·6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	·6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	·5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	·5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	·5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	·5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	·5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	·5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60°	·5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	·4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	·4695	4679	4664	4648	4633	4717	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	·4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	·4384	4368	4352	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	·4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	·4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	·3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	·3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	·3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70°	·3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	·3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	·3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	·2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	·2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	·2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	·2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	·2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	·2079	2062	2045	2028	2011	1994	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	·1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1754	3	6	9	11	14
80°	·1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	·1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	·1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	·1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	·1045	1028	1011	0993	0976	0958	0941	0924	0906	0889	3	6	9	12	14
85	·0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	14
86	·0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	·0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	·0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	·0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15

TABLE 5

NATURAL TANGENTS

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	1′	2′	3′	4′	5′
0°	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	3	6	9	12	15
3	·0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	·0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	·0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	·1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	·1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	·1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	·1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10°	·1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	·1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	·2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	·2309	2327	2345	2364	2383	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	·2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	·2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	·2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	·3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	·3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	·3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20°	·3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	·3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	·4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	·4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	·4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4921	4642	4	7	11	14	18
25	·4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	·4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	·5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	·5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	·5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30°	·5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	4	8	12	16	20
31	·6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	4	8	12	16	20
32	·6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	·6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	·6745	6771	6796	6822	6847	6873	6899	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	·7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	·7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	·7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	·7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	·8098	8127	8156	8185	8214	8423	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40°	·8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	·8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	·9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	·9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	·9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29

Mean Differences: columns 1′, 2′, 3′, 4′, 5′

TABLE 5—*Continued.*

NATURAL TANGENTS

	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
45°	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	18	24	30
46	1·0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	6	12	18	25	31
47	1·0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6	13	19	25	32
48	1·1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7	13	20	27	33
49	1·1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7	14	21	28	34
50°	1·1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7	14	22	29	36
51	1·2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8	15	23	30	38
52	1·2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8	16	24	31	39
53	1·3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8	16	25	33	41
54	1·3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9	17	26	34	43
55	1·4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9	18	27	36	45
56	1·4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10	19	29	38	48
57	1·5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	10	20	30	40	50
58	1·6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11	21	32	43	53
59	1·6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11	23	34	45	56
60°	1·7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12	24	36	48	60
61	1·8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1·8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1·9626	9711	9797	9883	9970	0057	0145	0233	0323	0413	15	29	44	58	73
64	2·0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2·1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2·2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2·3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2·4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2·6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70°	2·7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2·9042	9208	9375	9544	9714	9887	0061	0237	0415	0595	29	58	87	116	145
72	3·0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3·2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3·4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3·7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4·0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972					
77	4·3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4·7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	0045	0504	0970					
79	5·1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80°	5·6713	7297	7894	8502	9124	9758	0405	1066	1742	2432					
81	6·3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	0264					
82	7·1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	0285					
83	8·1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	0579	2052	3572					
84	9·514	9·677	9·845	10·02	10·20	10·39	10·58	10·78	10·99	11·20					
85	11·43	11·66	11·91	12·16	12·43	12·71	13·00	13·30	13·62	13·95					
86	14·30	14·67	15·06	15·46	15·89	16·35	16·83	17·34	17·89	18·46					
87	19·08	19·74	20·45	21·20	22·02	22·90	23·86	24·90	26·03	27·27					
88	28·64	30·14	31·82	33·69	35·80	38·19	40·92	44·07	47·74	52·08					
89	57·29	63·66	71·62	81·85	95·49	114·6	143·2	191·0	286·5	573·0					

Mean differences no longer sufficiently accurate.

TABLE 6

Pressure of Saturated Water Vapour in MM. of Mercury

Temp. C.	*Pressure* mm.	*Temp.* C.	*Pressure* mm.	*Temp.* C.	*Pressure* mm.
– 10°	2.16	11°	9·84	35°	42 02
– 9°	2·32	12°	10·51	40°	55·13
– 8°	2.51	13°	11·23	45°	71·64
– 7°	2·71	14°	11·98	50°	92·30
– 6°	2·93	15°	12·78	55°	117 9
– 5°	3·17	16°	13·62	60°	149·2
– 4°	3·40	17°	14·52	65°	187·3
– 3°	3·67	18°	15·46	70°	233·5
– 2°	3·96	19°	16·46	75°	288·9
– 1°	4·26	20°	17·51	80°	355·1
0°	4 58	21°	18·62	85°	433·4
1°	4·92	22°	19·79	90°	525·8
2°	5 29	23°	21·02	95°	633·9
3°	5·68	24°	22·32	99°	733·1
4°	6·10	25°	23·69	100°	760·00
5°	6·54	26°	25·13	101°	787·4
6°	7·01	27°	26·65	105°	905·7
7°	7·51	28°	28·25	110°	1074·5
8°	8·04	29°	29·94	150°	3569
9°	8·61	30°	31·71	200°	11647
10°	9·21				

N. B.—Near 100° C. the B. P. of water rises by about ·37° C. per rise of 10 mm. atmospheric pressure.

TABLE 7

SQUARES, CUBES, SQUARE ROOTS, CUBE ROOTS, AND RECIPROCALS

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$	n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1}{n}$
1	1	1	1	1	1	**51**	2601	132651	7·141	3·708	·01961
2	4	8	1·414	1·260	·50000	**52**	2704	140608	7·211	3·733	·01923
3	9	27	1·732	1·442	·33333	**53**	2809	148877	7·280	3·756	·01887
4	16	64	2·000	1·587	·25000	**54**	2916	157464	7·348	3·780	·01852
5	25	125	2·236	1·710	·20000	**55**	3025	166375	7·416	3·803	·01818
6	36	216	2·449	1·817	·16667	**56**	3136	175616	7·483	3·826	·01786
7	49	343	2·646	1·913	·14286	**57**	3249	185193	7·550	3·849	·01754
8	64	512	2·828	2·000	·12500	**58**	3364	195112	7·616	3·871	·01724
9	81	729	3·000	2·080	·11111	**59**	3481	205379	7·681	3·893	·01695
10	100	1000	3·162	2·154	·10000	**60**	3600	216000	7·746	3·915	·01667
11	121	1331	3·317	2·224	·09091	**61**	3721	226981	7·810	3·936	·01639
12	144	1728	3·464	2·289	·08333	**62**	3844	238328	7·874	3·958	·01613
13	169	2197	3·606	2·351	·07692	**63**	3969	250047	7·937	3·979	·01587
14	196	2744	3·742	2·410	·07143	**64**	4096	262144	8·000	4·000	·01563
15	225	3375	3·873	2·466	·06667	**65**	4225	274625	8·062	4·021	·01538
16	256	4096	4·000	2·520	·06250	**66**	4356	287496	8·124	4·041	·01515
17	289	4913	4·123	2·571	·05882	**67**	4489	300763	8·185	4·062	·01493
18	324	5832	4·243	2·621	·05556	**68**	4624	314432	8·246	4·082	·01471
19	361	6859	4·359	2·668	·05263	**69**	4761	328509	8·307	4·102	·01449
20	400	8000	4·472	2·714	·05000	**70**	4900	343000	8·367	4·121	·01429
21	441	9261	4·583	2·759	·04762	**71**	5041	357911	8·426	4·141	·01408
22	484	10648	4·690	2·802	·04545	**72**	5184	373248	8·485	4·160	·01389
23	529	12167	4·796	2·844	·04348	**73**	5329	389017	8·544	4·179	·01370
24	576	13824	4·899	2·884	·04167	**74**	5476	405224	8·602	4·198	·01351
25	625	15625	5·000	2·924	·04000	**75**	5625	421875	8·660	4·217	·01333
26	676	17576	5·099	2·962	·03846	**76**	5776	438976	8·718	4·236	·01316
27	729	19683	5·196	3·000	·03704	**77**	5929	456533	8·775	4·254	·01299
28	784	21952	5·291	3·037	·03571	**78**	6084	474552	8·832	4·273	·01282
29	841	24389	5·385	3·072	·03448	**79**	6241	493039	8·888	4·291	·01266
30	900	27000	5·477	3·107	·03333	**80**	6400	512000	8·944	4·309	·01250
31	961	29791	5·568	3·141	·03226	**81**	6561	531441	9·000	4·327	·01235
32	1024	32768	5·657	3·175	·03125	**82**	6724	551368	9·055	4·344	·01220
33	1089	35937	5·745	3·208	·03030	**83**	6889	571787	9·110	4·362	·01205
34	1156	39304	5·831	3·240	·02941	**84**	7056	592704	9·165	4·380	·01191
35	1225	42875	5·916	3·271	·02857	**85**	7225	614125	9·220	4·397	·01177
36	1296	46656	6·000	3·302	·02778	**86**	7396	636056	9·274	4·414	·01163
37	1369	50653	6·083	3·332	·02703	**87**	7569	658503	9·327	4·431	·01149
38	1444	54872	6·164	3·362	·02632	**88**	7744	681472	9·381	4·448	·01136
39	1521	59319	6·245	3·391	·02564	**89**	7921	704969	9·434	4·465	·01124
40	1600	64000	6·325	3·420	·02500	**90**	8100	729000	9·487	4·481	·01111
41	1681	68921	6·403	3·448	·02439	**91**	8281	753571	9·539	4·498	·01099
42	1764	74088	6·481	3·476	·02381	**92**	8464	778688	9·592	4·514	·01087
43	1849	79507	6·557	3·503	·02326	**93**	8649	804357	9·644	4·531	·01075
44	1936	85184	6·633	3·530	·02273	**94**	8836	830584	9·695	4·547	·01064
45	2025	91125	6·708	3·557	·02222	**95**	9025	857375	9·747	4·563	·01053
46	2116	97336	6·782	3·583	·02174	**96**	9216	884736	9·798	4·579	·01042
47	2209	103823	6·856	3·609	·02128	**97**	9409	912673	9·849	4·595	·01031
48	2304	110592	6·928	3·634	·02083	**98**	9604	941192	9·899	4·610	·01020
49	2401	117649	7·000	3·659	·02041	**99**	9801	970299	9·950	4·626	·01010
50	2500	125000	7·071	3·684	·02000	**100**	10000	1000000	10·000	4·642	·01000

TABLE 8

RECIPROCALS OF FOUR-FIGURE NUMBERS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences (Subtract)								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
1·0	1·000	9901	9804	9709	9615	9524	9434	9346	9259	9174	9	18	28	37	46	55	64	74	83
1·1	·9091	9009	8929	8850	8772	8696	8621	8547	8475	8403	8	15	23	31	38	46	53	61	69
1·2	·8333	8264	8197	8130	8065	8000	7937	7874	7813	7752	7	13	20	26	33	39	46	52	59
1·3	·7692	7634	7576	7519	7463	7407	7353	7299	7246	7194	6	11	17	22	28	33	39	44	50
1·4	·7143	7092	7042	6993	6944	6897	6849	6803	6757	6711	5	10	14	19	24	29	33	38	43
1·5	·6667	6623	6579	6536	6494	6452	6410	6369	6329	6289	4	8	13	17	21	25	29	33	38
1·6	·6250	6211	6173	6135	6098	6061	6024	5988	5952	5917	4	7	11	15	18	22	26	29	33
1·7	·5882	5848	5814	5780	5747	5714	5682	5650	5618	5587	3	7	10	13	16	20	23	26	29
1·8	·5556	5525	5495	5464	5435	5405	5376	5348	5319	5291	3	6	9	12	15	17	20	23	26
1·9	·5263	5236	5208	5181	5155	5128	5102	5076	5051	5025	3	5	8	11	13	16	18	21	24
2·0	·5000	4975	4950	4926	4902	4878	4854	4831	4808	4785	2	5	7	10	12	14	17	19	21
2·1	·4762	4739	4717	4695	4673	4651	4630	4608	4587	4566	2	4	7	9	11	13	15	17	19
2·2	·4545	4525	4505	4484	4464	4444	4425	4405	4386	4367	2	4	6	8	10	12	14	16	18
2·3	·4348	4329	4310	4292	4274	4255	4237	4219	4202	4184	2	4	5	7	9	11	13	14	16
2·4	·4167	4149	4132	4115	4098	4082	4065	4049	4032	4016	2	3	5	7	8	10	12	13	15
2·5	·4000	3984	3968	3953	3937	3922	3906	3891	3876	3861	2	3	5	6	8	9	11	12	14
2·6	·3846	3831	3817	3802	3788	3774	3759	3745	3731	3717	1	3	4	6	7	9	10	11	13
2·7	·3704	3690	3676	3663	3650	3636	3623	3610	3597	3584	1	3	4	5	7	8	9	11	12
2·8	·3571	3559	3546	3534	3521	3509	3497	3484	3472	3460	1	2	4	5	6	7	9	10	11
2·9	·3448	3436	3425	3413	3401	3390	3378	3367	3356	3344	1	2	3	5	6	7	8	9	10
3·0	·3333	3322	3311	3300	3289	3279	3268	3257	3247	3236	1	2	3	4	5	6	8	9	10
3·1	·3226	3215	3205	3195	3185	3175	3165	3155	3145	3135	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3·2	·3125	3115	3106	3096	3086	3077	3067	3058	3049	3040	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3·3	·3030	3021	3012	3003	2994	2985	2976	2967	2959	2950	1	2	3	4	4	5	6	7	8
3·4	2941	2933	2924	2915	2907	2899	2890	2882	2874	2865	1	2	3	3	4	5	6	7	8
3·5	·2857	2849	2841	2833	2825	2817	2809	2801	2793	2786	1	2	2	3	4	5	6	6	7
3·6	·2778	2770	2762	2755	2747	2740	2732	2725	2717	2710	1	2	2	3	4	5	5	6	7
3·7	·2703	2695	2688	2681	2674	2667	2660	2653	2646	2639	1	1	2	3	4	4	5	6	6
3·8	·2632	2625	2618	2611	2604	2597	2591	2584	2577	2571	1	1	2	3	3	4	5	5	6
3·9	·2564	2558	2551	2545	2538	2532	2525	2519	2513	2506	1	1	2	3	3	4	4	5	6
4·0	·2500	2494	2488	2481	2475	2469	2463	2457	2451	2445	1	1	2	2	3	4	4	5	5
4·1	·2439	2433	2427	2421	2415	2410	2404	2398	2392	2387	1	1	2	2	3	3	4	5	5
4·2	·2381	2375	2370	2364	2358	2353	2347	2342	2336	2331	1	1	2	2	3	3	4	4	5
4·3	·2326	2320	2315	2309	2304	2299	2294	2288	2283	2278	1	1	2	2	3	3	4	4	5
4·4	·2273	2268	2262	2257	2252	2247	2242	2237	2232	2227	1	1	2	2	3	3	4	4	5
4·5	·2222	2217	2212	2208	2203	2198	2193	2188	2183	2179	0	1	1	2	2	3	3	4	4
4·6	·2174	2169	2165	2160	2155	2151	2146	2141	2137	2132	0	1	1	2	2	3	3	4	4
4·7	·2128	2123	2119	2114	2110	2105	2101	2096	2092	2088	0	1	1	2	2	3	3	4	4
4·8	·2083	2079	2075	2070	2066	2062	2058	2053	2049	2045	0	1	1	2	2	3	3	3	4
4·9	·2041	2037	2033	2028	2024	2020	2016	2012	2008	2004	0	1	1	2	2	2	3	3	4
5·0	·2000	1996	1992	1988	1984	1980	1976	1972	1969	1965	0	1	1	2	2	2	3	3	4
5·1	·1961	1957	1953	1949	1946	1942	1938	1934	1931	1927	0	1	1	2	2	2	3	3	3
5·2	·1923	1919	1916	1912	1908	1905	1901	1898	1894	1890	0	1	1	1	2	2	3	3	3
5·3	·1887	1883	1880	1876	1873	1869	1866	1862	1859	1855	0	1	1	1	2	2	2	3	3
5·4	·1852	1848	1845	1842	1838	1835	1832	1828	1825	1821	0	1	1	1	2	2	2	3	3

E.g. $\frac{1}{3{\cdot}7} = {\cdot}2703$, $\frac{1}{3{\cdot}74} = {\cdot}2674$, $\frac{1}{3{\cdot}748} = {\cdot}2668$, $\frac{1}{374{\cdot}8} = {\cdot}002668$, $\frac{1}{{\cdot}0003748} = 2668$.

TABLE 8—*Continued.*

RECIPROCALS OF FOUR FIGURE NUMBERS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Differences Subtract								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
5·5	·1818	1815	1812	1808	1805	1802	1799	1795	1792	1789	0	1	1	1	2	2	2	3	3
5·6	·1786	1783	1779	1776	1773	1770	1767	1764	1761	1757	0	1	1	1	2	2	2	3	3
5·7	·1754	1751	1748	1745	1742	1739	1736	1733	1730	1727	0	1	1	1	1	2	2	2	3
5·8	·1724	1721	1718	1715	1712	1709	1706	1704	1701	1698	0	1	1	1	1	2	2	2	3
5·9	·1695	1692	1689	1686	1684	1681	1678	1675	1672	1669	0	1	1	1	1	2	2	2	3
6·0	·1667	1664	1661	1658	1656	1653	1650	1647	1645	1642	0	1	1	1	1	2	2	2	3
6·1	·1639	1637	1634	1631	1629	1626	1623	1621	1618	1616	0	1	1	1	1	2	2	2	2
6·2	·1613	1610	1608	1605	1603	1600	1597	1595	1592	1590	0	1	1	1	1	2	2	2	2
6·3	·1587	1585	1582	1580	1577	1575	1572	1570	1567	1565	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·4	·1562	1560	1558	1555	1553	1550	1548	1546	1543	1541	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·5	·1538	1536	1534	1531	1529	1527	1524	1522	1520	1517	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·6	·1515	1513	1511	1508	1506	1504	1502	1499	1497	1495	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·7	·1493	1490	1488	1486	1484	1481	1479	1477	1475	1473	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·8	·1471	1468	1466	1464	1462	1460	1458	1456	1453	1451	0	0	1	1	1	1	2	2	2
6·9	·1449	1447	1445	1443	1441	1439	1437	1435	1433	1431	0	0	1	1	1	1	2	2	2
7·0	·1429	1427	1425	1422	1420	1418	1416	1414	1412	1410	0	0	1	1	1	1	1	2	2
7·1	·1408	1406	1404	1403	1401	1399	1397	1395	1393	1391	0	0	1	1	1	1	1	2	2
7·2	·1389	1387	1385	1383	1381	1379	1377	1376	1374	1372	0	0	1	1	1	1	1	2	2
7·3	·1370	1368	1366	1364	1362	1361	1359	1357	1355	1353	0	0	1	1	1	1	1	2	2
7·4	·1351	1350	1348	1346	1344	1342	1340	1339	1337	1335	0	0	1	1	1	1	1	1	2
7·5	·1333	1332	1330	1328	1326	1325	1323	1321	1319	1318	0	0	1	1	1	1	1	1	2
7·6	·1316	1314	1312	1311	1309	1307	1305	1304	1302	1300	0	0	1	1	1	1	1	1	2
7·7	·1299	1297	1295	1294	1292	1290	1289	1287	1285	1284	0	0	0	1	1	1	1	1	1
7·8	·1282	1280	1279	1277	1276	1274	1272	1271	1269	1267	0	0	0	1	1	1	1	1	1
7·9	·1266	1264	1263	1261	1259	1258	1256	1255	1253	1252	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·0	·1250	1248	1247	1245	1244	1242	1241	1239	1238	1236	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·1	·1235	1233	1232	1230	1229	1227	1225	1224	1222	1221	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·2	·1220	1218	1217	1215	1214	1212	1211	1209	1208	1206	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·3	·1205	1203	1202	1200	1199	1198	1196	1195	1193	1192	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·4	·1190	1189	1188	1186	1185	1183	1182	1181	1179	1178	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·5	·1176	1175	1174	1172	1171	1170	1168	1167	1166	1164	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·6	·1163	1161	1160	1159	1157	1156	1155	1153	1152	1151	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·7	·1149	1148	1147	1145	1144	1143	1142	1140	1139	1138	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·8	·1136	1135	1134	1133	1131	1130	1129	1127	1126	1125	0	0	0	1	1	1	1	1	1
8·9	·1124	1122	1121	1120	1119	1117	1116	1115	1114	1112	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·0	·1111	1110	1109	1107	1106	1105	1104	1103	1101	1100	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·1	·1099	1098	1096	1095	1094	1093	1092	1090	1089	1088	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·2	·1087	1086	1085	1083	1082	1081	1080	1079	1078	1076	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·3	·1075	1074	1073	1072	1071	1070	1068	1067	1066	1065	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·4	·1064	1063	1062	1060	1059	1058	1057	1056	1055	1054	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·5	·1053	1052	1050	1049	1048	1047	1046	1045	1044	1043	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·6	·1042	1041	1039	1038	1037	1036	1035	1034	1033	1032	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·7	·1031	1030	1029	1028	1027	1026	1025	1024	1022	1021	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·8	·1020	1019	1018	1017	1016	1015	1014	1013	1012	1011	0	0	0	1	1	1	1	1	1
9·9	·1010	1009	1008	1007	1006	1005	1004	1003	1002	1001	0	0	0	1	1	1	1	1	1

TABLE—9

II. MATHEMATICAL CONSTANTS

$e \approx$ Base of natural logarithms $= 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots = 2{\cdot}71828$, $\frac{1}{e} = 0{\cdot}36788$

M = Modules of common logarithms $= \log_{10} e = 0{\cdot}434294$, $\log_e 10 = 2{\cdot}30259$

$\log_{10} N = \log_e N \times {\cdot}4343$. $\log_e N = \log_{10} N \times 2{\cdot}3026$. 1 Radian $= 57^\circ{\cdot}2958 = 57^\circ\ 17'\ 45''$

	Number.	*Logarithm.*		*Number.*	*Logarithm.*		*Number.*	*Logarithm.*
$\pi = 3{\cdot}14159265\ldots$	3·1416	0·4971	π^2	9·8696	0·9943	$\sqrt{\pi}$	1·7725	0·2486
$\frac{4\pi}{3}$	4·1888	0·6221	π^3	31·006	1·4914	$\sqrt[3]{\pi}$	1·4646	0·1657
$\frac{\pi}{180}$	·01745	$\bar{2}$·2419	$1/\pi$	·31831	$\bar{1}$·5029	$\sqrt[3]{6/\pi}$	1·2407	0·0937
			$1/\pi^2$	·10132	$\bar{1}$·00570			

Geometrical Form.	*Perimeter.*	*Area or Surface.*	*Volume.*
Rectangle (sides a, b)	$2a+2b$	ab	...
Square (side a)	$4a$	a^2	...
Triangle (base a, altitude h)	...	$\frac{1}{2}ah$	...
Triangle (sides a, b, c)	$a+b+c=2s$	$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$ or $\frac{1}{2}bc \sin A$	...
Circle (radius r)	$2\pi r$	πr^2	...
Ellipse (axes $2a$, $2b$)	$2\pi\sqrt{\frac{a^2+b^2}{2}}$ approx.	πab	...
Rectangular Solid, or Cuboid (edges a, b, c)	...	$2(ab+bc+ca)$	abc
Cylinder (radius r, height h)	...	$2\pi r(h+r)$	$\pi r^2 h$
Cone (radius r, height h, slant height l)	...	$\pi r(l+r)$	$\frac{1}{3}\pi r^2 h$
Sphere (radius r)	...	$4\pi r^2$	$\frac{4}{3}\pi r^3$
Anchor Ring (mean radius R, radius of circular section r)	...	$4\pi^2 rR$	$2\pi^2 r^2 R$

11001

2C N52

NATURAL LOGARITHMS OF 10^n

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\log_e 10^n$	2·3026	4·6052	6·9078	9·2103	11·5129	13·8155	16·1181	18·4207	20·7233

E g. $\log_e 584{\cdot}7 = \log_e(5{\cdot}847 \times 10^2) = 1.7659 + 4{\cdot}6052 = 63711.$

OFFICE OF THE REGISTRAR OF BOOKS
177
16 OCT 1952
MADRAS
24A
12-116